

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет  
Кафедра виробництва приладів**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Віктор АНТОНЮК

«10» серпня 2020 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані  
технології виробництва приладів»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»**

**на тему: «Автоматизована платформа для транспортування  
малогабаритних виробів»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ПБ-61

Третяк Олена Вячеславівна

Керівник:

Доцент, кандидат технічних наук

Стельмах Наталія Володимирівна

Рецензент:

Професор, доктор технічних наук

Киричук Юрій Володимирович

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студентка

Київ – 2020 року



**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Автоматизована платформа для  
транспортування малогабаритних виробів»**

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра виробництва приладів**

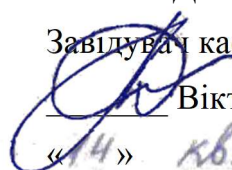
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології  
виробництва приладів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Віктор АНТОНЮК

«14» *квітня* 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Третяк Олені Вячеславівні**

1. Тема проєкту «Автоматизована платформа для транспортування малогабаритних виробів», керівник проєкту Стельмах Наталія Володимирівна, доцент, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1180-с
2. Термін подання студентом проєкту 03 червня 2020р.
3. Вихідні дані до проєкту: габарити деталей, що будуть транспортуватися, максимальна вантажопідйомність, кресленник платформи
4. Зміст пояснювальної записки:
  1. Конструкторський розділ 1.1. Опис об'єкту проектування 1.2. Проектування електричної схеми автоматизованої платформи 1.3. Геометричний аналіз пристрою 1.4. Математична модель руху платформи 1.5. Кінематична модель автоматизованої платформи 1.6. Просторове позиціонування та розрахунок датчиків руху 1.7. Розроблення конструкції платформи та бункеру для деталей (соти) 1.8. Розроблення системи керування платформою
  2. Технологічний розділ 2.1. Відпрацювання конструкції платформи на технологічність 2.2. Визначення геометричної точності складання платформи



2.3. Розроблення технологічного процесу складання платформи 2.3.1. Проектування структурної схеми складання платформи 2.3.2. Проектування технологічної схеми складання платформи 2.3.3. Вибір та обґрунтування обладнання й інструменту 2.3.2. Розроблення маршрутної та операційної технології складання платформи 2.4. Проектування пристосування для випробування платформи

5. Перелік графічного матеріалу: (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо). Загальний вигляд автоматизованої платформи. Склададний кресленник автоматизованої платформи. Кресленник бункеру. Розподільна плата платформи. Електрична схема Схема структурного складу автоматизованої платформи. Технологічна схема складання платформи. Кресленник випробувального стенду для платформи. Деталювання

#### 6. Консультанти розділів проєкту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 13.03.2020

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Проектування електричної схеми автомаитзованої платформи	20.03.2020	
2	Просторове позиціонування та розрахунок датчиків руху	27.03.2020	
3	Розроблення конструкції платформи та бункеру для деталей (соти)	03.04.2020	
4	Розроблення системи керування платформою	17.04.2020	
5	Відпрацювання конструкції платформи на технологічність	24.04.2020	
6	Визначення геометричної точності складання платформи	01.05.2020	
7	Розроблення технологічного процесу складання платформи	08.05.2020	
8	Проектування пристосування для випробування платформи	22.05.2020	
9	Оформлення пояснювальної записки ДП	29.05.2020	
10	Подача дипломного проєкту до передзахисту	03.06.2020	

Студент

Олена ТРЕТЯК

Керівник

Наталія СТЕЛЬМАХ

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

## Анотація

В дипломному проєкті бакалавра було розроблено технологічний процес проектування автоматизованої платформи для транспортування малогабаритних виробів. Проєкт містить два розділи – конструкторський і технологічний. В конструкторському розділі були розглянуті питання розробки електричної схеми управління і розрахунків датчиків, автономної роботи автоматизованої платформи, розрахунків та, безпосередньо, розробки кресленників автоматизованої платформи, розробки змінного бункера для переміщення малогабаритних деталей.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Містить 33 малюнка, 4 таблиці. Повний обсяг бакалаврської роботи становить 75 сторінок.

В технологічному розділі були розглянуті питання пов'язані з відпрацюванням конструкції автоматизованої платформи для придатності для складання, а також розроблено технологічний процес складання автоматизованої платформи у вигляді технологічної схеми складання та отримано відповідну технологічну документацію у вигляді операційних карт.

Звернено увагу на питання пов'язані з забезпеченням точності складання платформи. Для цього розраховано розмірний ланцюг. Питання випробування також було розглянуто, створено пристосування для дослідження руху навантаженої автоматизованої платформи.

## **Annotation**

In the bachelor's thesis project the technological process of designing an automated platform for transportation of small products was developed. The project contains two sections - design and technology. In the design section the issues of development of electrical control circuit and calculation of sensors, autonomous operation of the automated platform, calculations and, directly, development of drawings of the automated platform, development of a replaceable hopper for moving small parts were considered.

Work structure. The work consists of an introduction, two sections, conclusions, a list of sources and appendices. Contains 33 figures, 4 tables. The full volume of the bachelor's thesis is 75 pages.

In the technological section the issues related to the development of the automated platform for suitability for assembly were considered, as well as the technological process of assembling the automated platform in the form of a technological scheme of assembly and the relevant technological documentation in the form of operational maps.

Attention is paid to issues related to ensuring the accuracy of the assembly of the platform. The dimensional chain is calculated for this purpose. The test issue was also considered, a device was created to study the movement of a loaded automated platform.

## Зміст

Список умовних позначень .....	9
Вступ.....	10
1. Конструкторський розділ .....	11
1.1. Опис об'єкту проектування .....	12
1.2. Проектування електричної схеми автоматизованої платформи.....	14
1.3. Геометричний аналіз пристрою .....	19
1.4. Математична модель руху платформи .....	22
1.5. Кінематична модель автоматизованої платформи.....	24
1.6. Просторове позиціонування та розрахунок датчиків руху .....	27
1.7. Розроблення конструкції платформи та бункеру для деталей (соти) .	36
1.8. Розроблення системи керування платформою .....	39
2. Технологічний розділ.....	52
2.1. Відпрацювання конструкції платформи на технологічність.....	53
2.2. Визначення геометричної точності складання платформи .....	56
2.3. Розроблення технологічного процесу складання платформи .....	60
2.3.1. Проектування структурної схеми складання платформи.....	60
2.3.2. Проектування технологічної схеми складання платформи.....	61
2.3.3. Вибір та обґрунтування обладнання й інструменту.....	63
2.3.4. Розроблення маршрутної та операційної технології складання платформи.....	63
2.4. Проектування пристосування для випробування платформи.....	64
Висновки .....	66
Список використаних джерел .....	67
Додатки.....	69
Додаток А.....	70
Додаток Б .....	72
Додаток В .....	84
Додаток Г .....	97
Додаток Д.....	99
Додаток Е .....	106

## **Список умовних позначень**

АКБ – акумуляторна батарея

АМР – автономні мобільні роботи

ДПС – двигун постійного струму

ПК – персональний комп'ютер

МК – мікроконтролер

РЛ – розмірний ланцюг

ЧПК – числове програмне керування

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

## Вступ

Тенденції розвитку сучасних підприємств вітчизняного та світового виробництва у приладобудуванні динамічно розвиваються. Декілька минулих десятиліть принесли величезні зміни у галузь обробки матеріалів та автоматизації виробництва. Від зростання витрат на робочу силу до скорочення кількості кваліфікованих працівників.

Не дивлячись на те, що у нашій країні приладобудування переважно дрібносерійне і складання, більшою мірою, мало автоматизоване, але таке виробництво вимагає швидкого освоєння продукції і виготовлення перших зразків. Тому навіть таке виробництво у сучасних реаліях потребує введення елементів автоматизації у виробничий процес, що підвищить продуктивність.

Метою дипломного проєкту бакалавра є автоматизація процесу транспортування готових деталей між виробничими підрозділами підприємства. Поставлення роботизованих складських та логістичних пристроїв у світі збільшується.

Таким чином питання пов'язані з автоматизацією процесу транспортування виробів між виробничими підрозділами підприємства є актуальними. Метою дипломного бакалаврського проєкту є автоматизація процесу транспортування готових деталей між виробничими підрозділами підприємства [14].

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Розробити макет автоматизованої платформи для транспортування малогабаритних виробів.
2. Підібрати датчики та плату управління ними, розробити програмне забезпечення.
3. Розрахувати технологічність; скласти технологічний процес складання.

# **1. Конструкторськи й розділ**

### 1.1. Опис об'єкту проектування

Платформа – транспортний засіб відкритого типу, що виготовляється з різних матеріалів, на який розміщуються вироби і який застосовується для зберігання та транспортування. Платформи поділяють на універсальні та спеціалізовані. Універсальні використовують для різноманітних вантажів великої номенклатури, спеціалізовані – для транспортування вантажів певного типу. За конструкцією платформи розрізняють бортові, безбортові, галімівні, негалімівні. Використовуються як на залізничних шляхах, так і на дорожніх, наприклад, в межах підприємства.

Існують роботизовані платформи, що можуть працювати автономно. Автономні мобільні роботи (АМР) – це роботи, які здійснюють дії або виконують поставлені завдання з високим ступенем автономії, що особливо необхідно в таких областях, як освоєння космосу, ведення домашнього господарства (наприклад, роботи-пилососи); будь-який робот, що може розуміти оточуюче середовище, переміщатися в ньому без нагального нагляду з боку оператора або фіксованим шляхом. Вони мають багато датчиків, які дозволяють їм розуміти все навколо та інтегрувати у своє розуміння, що дозволяє їм виконувати поставлену задачу найбільш ефективним способом (рис.1.1).

Використання нових технологій, процесів і процедур завжди було важливою частиною задачі розподільних операцій, які повинні регулярно модернізуватися і адаптуватися, щоб залишатися конкурентоспроможними і прибутковими у сучасності. Але з доступними технологіями, що швидко модернізуються, може бути важко визначити, які рішення автоматизації найбільш відповідають потребам виробництва. Це відносно молода технологія, але вже АМР поділяються за тим, що мають робити на три широких сегмента:





*Рис. 1.1. Автоматизовані роботи транспортно-складської системи:  
а) сортувальний; б) для транспортування.*

- АМР, які переміщують інвентар в межах об'єкта (рис. 1.2, рис. 1.3);
- АМР, які допомагають в процесі вибору;
- АМР, які є гнучким рішенням для сортування.



*Рис. 1.2. АМР, що переміщують інвентар*



*Рис. 1.3. Робота платформи у межах об'єкту*

Розроблений в дипломному проєкті макет автоматизованої платформи призначений для транспортування виробів між цехами та територією виробництва зі змінною верхньою плитою (бункером) під габарити та конфігурацію деталей, що виробляються, в залежності від потреб підприємства. Розроблена автоматизована платформа містить електронні готові блоки та спроектовані деталі, які були виготовлені шляхом 3D-друку. При цьому використовувався лабораторний 3D-принтер з методом друку FDM, матеріалом PLA, товщиною шару при друці 0.2мм. Управління платформою здійснюватиметься за допомогою бездротової технології на підставі Bluetooth-з'єднання. Схематично спроектовано електронні блоки для візуалізації загального вигляду складеної автоматизованої платформи, що представлено на кресленнику ДП.ПБ6118.102.001 СК (Додаток А).

## **1.2. Проєктування електричної схеми автоматизованої платформи**

Електрична схема (рис. 1.4) автоматизованої платформи базується на обраній електронній платі Arduino моделі Uno R3 (Італія), з вбудованим мікроконтролером моделі ATmega328 [1]. Мікроконтролер ATmega328 має наступні характеристики [2]:

- 14 цифрових портів входу-виходу (6 з яких підтримують режим ШІМ – широтно-імпульсної модуляції);

- 6 аналогових входів;
- роз'єм живлення;
- частота такту 16 МГц;
- роз'єм внутрішньосхемного програмування;
- USB-порт;
- кнопка скидання.

Середовище програмування електронної плати Arduino базується на мовах C і C ++. Зв'язок з комп'ютером відбувається за допомогою порту USB через віртуальний COM-порт.

Підключення будь-яких пристроїв (діодів, ламп, датчиків, моторів, виконуючих пристроїв, і плати розширення) до плати Arduino здійснюється шляхом приєднання до контактів, розташованих на платі контролера: або до одного з цифрових пінів, або аналогових, або пінів живлення [1]. Звичайний світлодіод можна приєднати, використавши два контакти: землю (GND) і сигнальний (або контакт живлення). Електричну схему плати Arduino Uno R3 представлено на кресленнику ДП.ПБ6118.102.003 СХ (Додаток А), технічні характеристики плати наведені у таблиці 1.1.

*Таблиця 1.1. Загальні технічні характеристики плати Arduino*

Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (граничне значення)	6-20В
Цифрові входи / виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів)
Максимальний струм одного виведення	40 мА
Аналогові входи	6

## Продовження таблиці 1.1.

Максимальний вихідний струм виходу 3.3V	50 мА
Flash-пам'ять	32 КБ (ATmega328) з яких 0.5 КБ використовуються завантажувальним пристроєм
SRAM	2 КБ (ATmega328)
EEPROM	1 КБ (ATmega328)
Тактова частота	16 МГц

Нижче перераховані виходи, які розміщуються на платі:

1. *VIN*. Від зовнішнього джерела живлення (не пов'язане з 5В від USB або іншою стабілізованою напругою) напряму в Arduino надходить напруга. Через цей порт можна як подавати зовнішнє живлення, так і приймати струм, коли пристрій підключений до зовнішнього адаптера і живиться від нього;

2. *5V*. На порт доставляється напруга 5В від стабілізатора напруги (який розміщений на платі), не залежить від того, як живиться пристрій: від адаптера (7-12В), від USB-порту (5В) або через порт *VIN* (7-12В). Надавати живлення пристрою через порти 5V або 3V3 не рекомендується, бо в цьому випадку не використовується стабілізатор напруги – це може привести до виходу плати з ладу;

3. *V3*. 3.3В, що надходять від стабілізатора напруги на платі. Максимальний струм, споживаний від цього порту, становить 50 мА.

4. *IOREF*. Цей порт надає платам розширити інформацію про робочу напругу МК Arduino. Залежно від напруги, що зчиталася з порту *IOREF*, плата розширення може змінити відповідне джерело живлення або задіяти перетворювачі рівнів, що дозволить їй працювати як з 5В, так і з 3.3В-пристроями.[2]

5. *GND*: Порт заземлення.

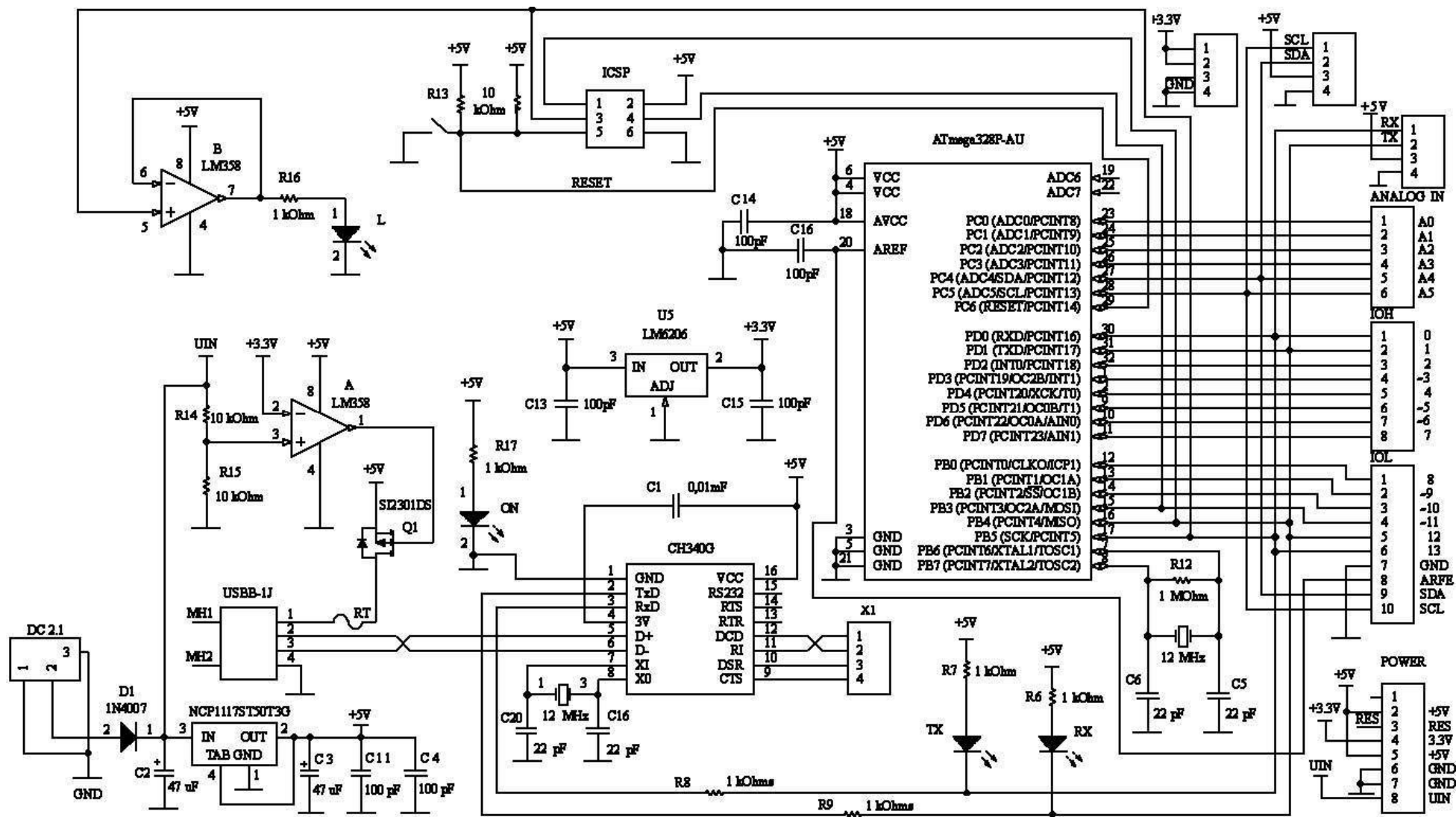


Рис. 1.4. Електрична схема плати Arduino UNO R3

6. *Входи і виходи.* Використовуючи функції `pinMode()`, `digitalWrite()` і `digitalRead()` у програмному коді, кожен з 14 цифрових портів може працювати на вхід або вихід. Обмеження рівня напруги на виходах становить 5В. Максимальний струм, який може споживати або віддавати один порт, складає 40 мА. Всі порти пов'язані з внутрішніми резисторами (за замовчуванням вони відключені), що підтягуються номіналом від 20 кОм до 50 кОм. Окрім цього, деякі порти Arduino здатні виконувати додаткові функції, наприклад, функція послідовного інтерфейсу: порти 0 (RX) і 1 (TX). Використовуються для передачі (TX) й отримання (RX) даних послідовним інтерфейсом. Ці порти з'єднані з відповідними їм іншими портами мікросхеми ATmega328, які використовуються в якості перетворювача USB-UART.

7. *Світлодіод:* Вбудований світлодіод, приєднаний до виходу 13. При відправці логічної 1 (HIGH) світлодіод вмикається, при логічному 0 (LOW) – вимикається.

8. *ШИМ:* порти 3, 5, 6, 9, 10 і 11. За допомогою функції `analogWrite()` виводитимуть аналогові 8-бітові значення в вигляді ШІМ-сигналу. SPI-інтерфейс: порти 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Застосовуючи дані бібліотеки SPI вказані порти можуть здійснювати зв'язок з інтерфейсом SPI.

9. *Зовнішні переривання:* порти 2 і 3. Можуть служити джерелами переривань, що виникають при фронті, спаді або при низькому рівні сигналу на цих портах[2].

Arduino серії Uno має 6 аналогових входів (A0 - A5), кожен з яких записує аналогову напругу у вигляді 10-бітного числа (1024 різних значення). Усталено, визначення значення напруги здійснюється відносно діапазону 0-5В. Однак, верхню межу зазначеного діапазону можна змінити за допомогою порту AREF і функції `analogReference()`. До того ж, деякі з аналогових входів мають додаткові функції.

Крім перерахованих на платі існує ще кілька портів:

*AREF*. Порт опорної напруги для аналогових входів. Звернення до нього здійснюється функцією `analogReference`.

*Reset*. Формування низького сигналу (LOW) на цьому порту призведе до перезавантаження мікроконтролера. Зазвичай цей порт служить для функціонування кнопки скидання на платах розширення.

Оскільки можливі збої з електропостачанням, пристрій повинен зберігати всі попередні налаштування в незалежній пам'яті. При цьому в черговому режимі використання споживачів, які використовують величезну кількість струму неприпустимо. Необхідно щоб протягом всього резервного циклу роботи пристрою забезпечувалася стабільна напруга живлючих ланцюгів.

### 1.3. Геометричний аналіз пристрою

Для визначення просторового переміщення автоматизованої платформи виконаємо геометричний аналіз пристрою у замкненій системі.

Замкнута система являє собою певний простір, який обмежений наступними параметрами:

- має фіксовані площу і об'єм;
- відсутність додаткових сил, які можуть впливати на об'єкт дослідження;
- стабільну та стаціонарну температуру;
- стаціонарні (константи у часі) постійні величини (швидкість світла, швидкість звуку, сила земного тяжіння, стабільне магнітне поле землі, яке не змінюється в часі).

Опишемо замкнену систему в вигляді куба або паралелепіпеда, з гранями  $a$ ,  $b$ ,  $h$  фігури з певним об'ємом, яка має три пари симетричних граней у вигляді прямокутників, однакові паралельні одна одній, а неоднакові взаємно перпендикулярні, хоч це не є повним описом простору беручи до уваги нерівність стін і наявність перешкод. (рис 1.5).

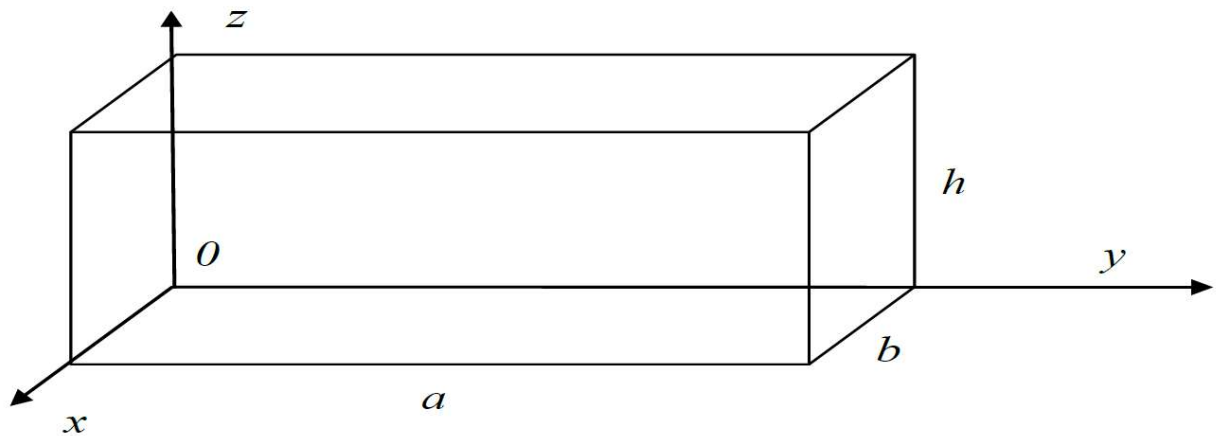


Рис. 1.5. Геометрія приміщення

Для зручності аналізу, розглянемо приміщення виключно в декартовій системі координат  $(x, y, z)$  з нульовою точкою відліку. Оскільки нульова точка відліку є невідомою змінною, то змінюється її фізичний зміст. Оскільки система, що проектується вважається фактично автономною, то нульовою точкою відліку  $(x = 0, y = 0, z = 0)$  вважається та точка  $T$ , з якої починаються вимірювання [7]. Отже, в залежності від переміщення об'єкта значення  $(x, y, z)$  можуть приймати від'ємні значення. Таким чином, геометрія системи прийме наступний вигляд (рис 1.6).

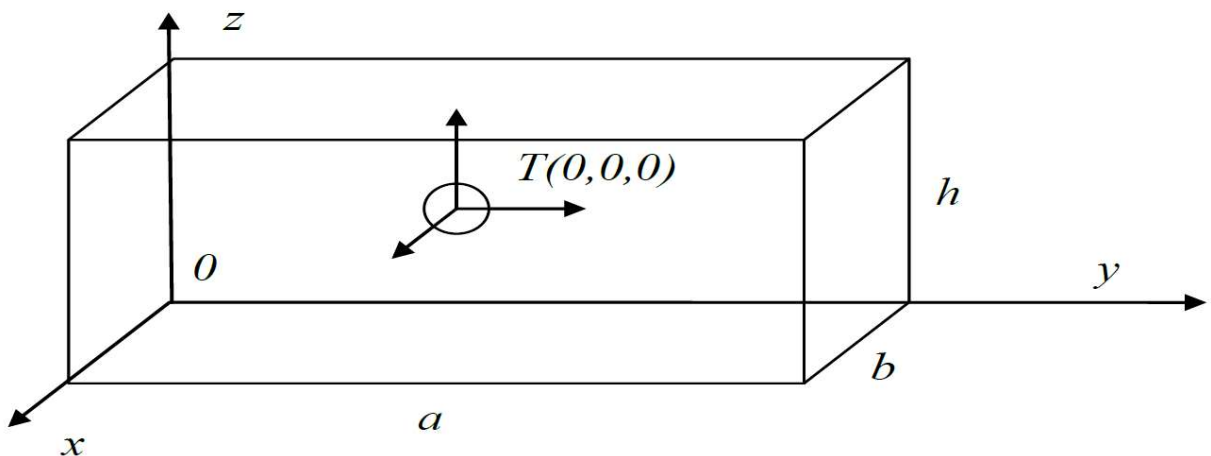


Рис. 1.6. Геометрія приміщення з точкою відліку

Визначення значення  $T(x, y, z)$ , а також їх зміна в часі  $T\left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}\right)$  по суті є не прямими, а побічними вимірами.

В основі вимірів лежить час роботи платформи шасі, який визначає прискорення і швидкість руху платформи.



Виходячи із законів фізики, прискорення є похідною часу від швидкості, а пройдена відстань – похідна швидкості за часом

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad \vec{a} = \frac{d^2\vec{v}}{dt^2} \quad (1.1)$$

де  $a$  – наземне прискорення;

$v$  – швидкість.

На підставі аналізу вихідних даних можна зробити висновок, що положення об'єкта в просторі визначається такими параметрами, як прискорення (яке є першою похідною від швидкості і другою похідною від відстані), кут нахилу відносно земної поверхні, а також час роботи моторів.

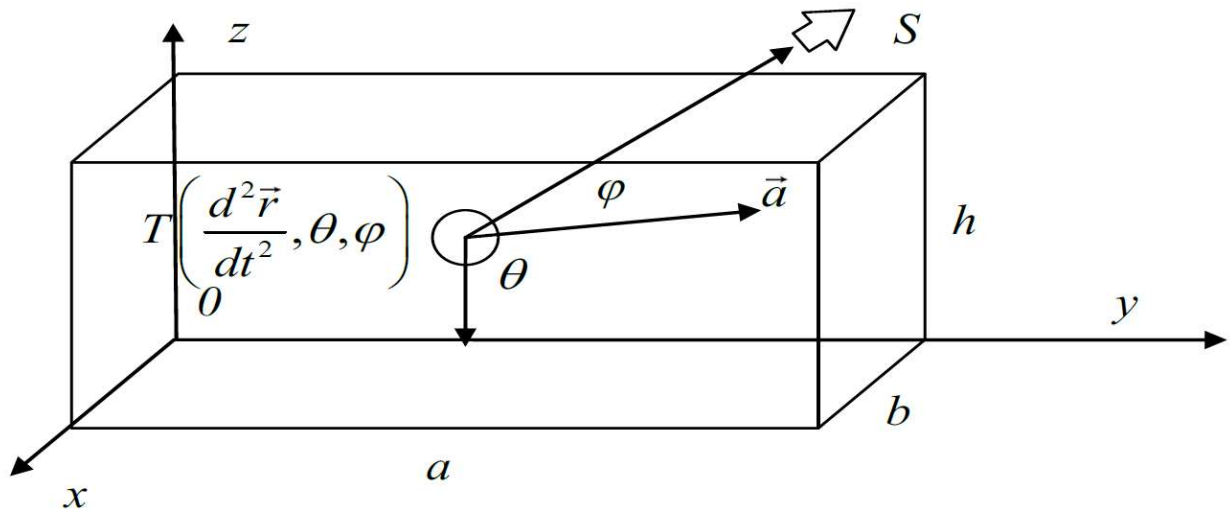


Рис. 1.7. Геометрія приміщення з точкою відліку

Тепер можемо перейти з декартової системи координат у сферичну систему координат. Однак, при цьому, треба дотриматися наступних умов:

- відлік повинен починатися з фіксованою часовою затримкою, щоб на момент досліджень не відбувалося будь-яких збоїв.
- платформа повинна бути рівноважною, зв'язок між декартовими і сферичними координатами описується формулами:

$$\begin{cases} x = r * \sin(\theta) * \cos(\varphi) \\ y = r * \sin(\theta) * \sin(\varphi) \\ z = r * \cos(\theta) \end{cases} \quad (1.2)$$

Зворотний перехід із сферичної до декартової системи координат описується наступними формулами:

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \theta = \text{ArcCos}\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}\right) \\ \varphi = \text{ArcTg}\frac{y}{x} \end{cases} \quad (1.3)$$

У спрощеному вигляді (за умови, що висота об'єкта не змінюватиметься) для зручності систему можна представити в полярній системі координат і даними одного з датчиків можна буде знехтувати

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \varphi = \text{ArcTg}\frac{y}{x} \end{cases} \quad \begin{cases} x = r * \text{Cos}(\varphi) \\ y = r * \text{Sin}(\varphi) \end{cases} \quad (1.4)$$

Такий аналіз матиме практичну цінність при побудові порівняльної моделі результатів вимірювань.

#### 1.4. Математична модель руху платформи

Оскільки для проєктування обрано 3-колісну рухливу платформу з заднім приводом, що містить 2 керованих приводів з передатним числом 1:10.

Можливі види руху платформи показано на рисунку 1.8.

Вирази для розрахунку похибки позиціонування в прирості узагальнених координат:

Вирази для розрахунку похибки позиціонування в прирості узагальнених координат:

$$\begin{cases} \Delta x = \sqrt{h^2 + S_3^2} * \sin\varphi_1 * \Delta\varphi_1 + \cos\varphi_1 * \frac{S_3}{\sqrt{h^2 + S_3^2}} * \Delta S_3; \\ \Delta y = \sqrt{h^2 + S_3^2} * \cos\varphi_1 * \Delta\varphi_1 + \sin\varphi_1 * \frac{S_3}{\sqrt{h^2 + S_3^2}} * \Delta S_3; \\ \Delta z = \Delta S_2; \end{cases} \quad (1.5)$$

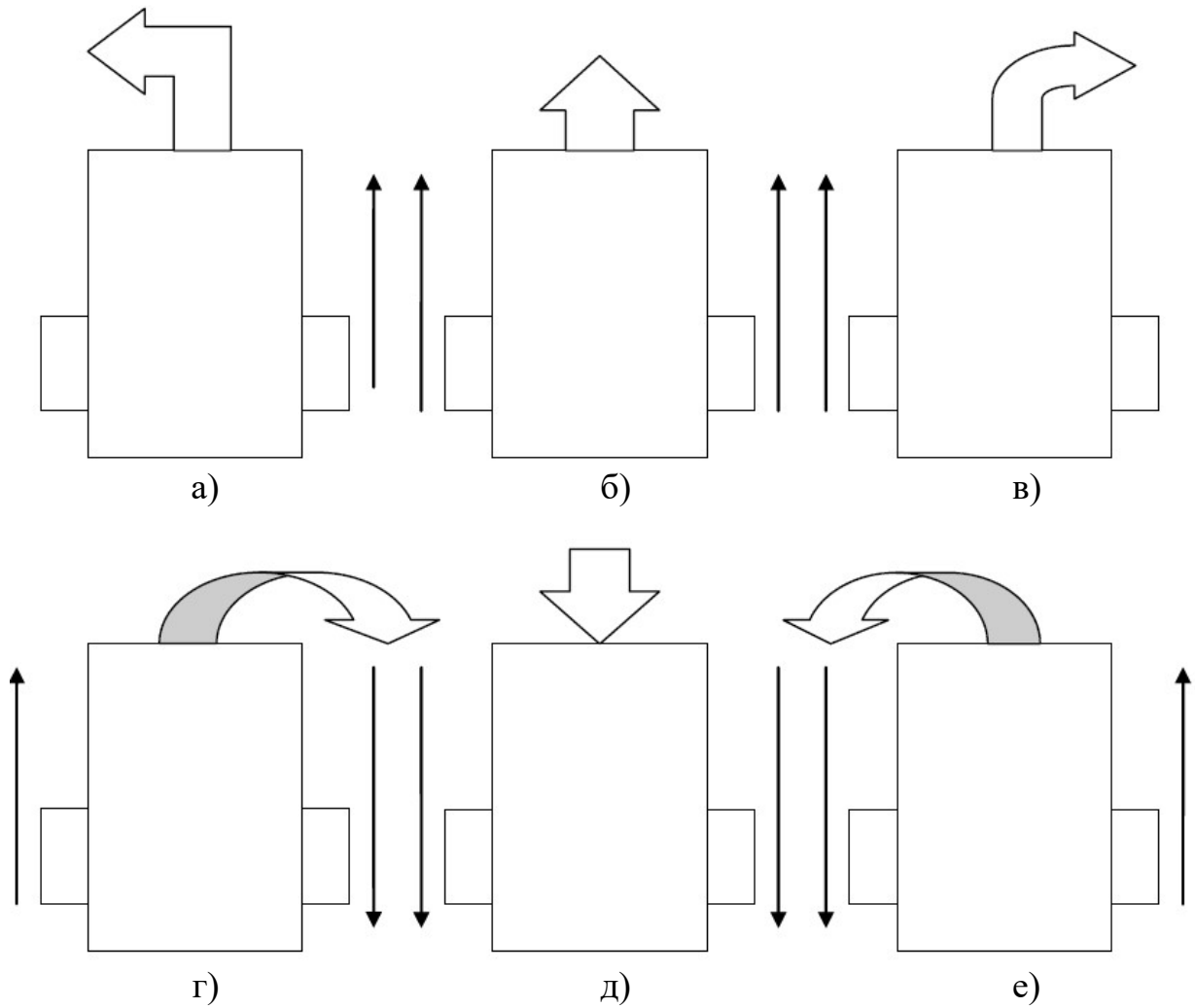


Рис. 1.8. Траєкторія руху платформи: а) вліво; б) прямо; в) вправо; г) розворот за годинниковою стрілкою; д) назад; е) розворот проти годинникової стрілки.

Виходячи з того що відсутній рульовий механізм, а поворот визначається різницею напрямку руху коліс, виходить наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} \sqrt{h^2 + S_3^2} * \cos\varphi_1 = 0 \\ \sqrt{h^2 + S_3^2} * \sin\varphi_1 = 1.7 \\ S_2 = 1.6 \end{cases} \quad (1.6)$$

де  $h = \text{const.}$

Вирішуючи дану систему рівнянь, знаходяться значення узагальнених координат:  $\varphi_1 = 1,57$  рад (89,9),  $S_3 = 1,7$  м.

Підставив знайдені значення узагальнених координат в отримані раніше вирази похибки позиціонування (1.5) та обрав похибки старту і

повороту, знайдемо похибки позиціонування автоматизованої платформи за кожною з осей:

$$\begin{aligned}
 \Delta x &= \sqrt{h^2 + S_3^2} * \sin \varphi_1 * \Delta \varphi_1 + \cos \varphi_1 * \frac{S_3}{\sqrt{h^2 + S_3^2}} * \Delta S_3 \\
 &= \sqrt{0.5^2 + 1.7^2} * \sin(89.9) * 0.72 * 10^{-3} + \cos(89.9) \\
 &\quad * \frac{1.7}{\sqrt{0.5^2 + 1.7^2}} * 0.8 * 10^{-3} = 0.001269\text{м} = 1,296\text{мм} \\
 \Delta y &= \sqrt{h^2 + S_3^2} * \cos \varphi_1 * \Delta \varphi_1 + \sin \varphi_1 * \frac{S_3}{\sqrt{h^2 + S_3^2}} * \Delta S_3 \quad (1.7) \\
 &= \sqrt{0.5^2 + 1.7^2} * \cos(89.9) * 0.72 * 10^{-3} + \sin(89.9) \\
 &\quad * \frac{1.7}{\sqrt{0.5^2 + 1.7^2}} * 0.8 * 10^{-3} = 0.000768\text{м} = 0,768\text{мм} \\
 \Delta z &= 0.4\text{мм} \\
 \Delta \rho &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \sqrt{1.296^2 + 0.768^2 + 0.4^2} = 1,558\text{мм}
 \end{aligned}$$

### 1.5. Кінематична модель автоматизованої платформи

Для побудови кінематичної моделі розглянемо платформу, що приводиться в рух двома співвісними, неповоротними, незалежними, активними (ведучими) колесами (1-ліве, 2-праве) і одним пасивним (опорним) колесом в абсолютній декартовій системі координат  $x = (x_1, x_2)$  і відносній системі координат  $z = (z_1, z_2)$  (рис.1.9).

Кожне провідне (ведуче) колесо приводиться в рух двигуном постійного струму. Опорне колесо забезпечує підтримку платформи в горизонтальному положенні, обертається вільно навколо власної осі.  $C$  – характерна точка робота (центр-мас). Положення платформи в кожен момент часу однозначно визначається вектором  $x^c = (x_1^c, x_2^c)$  координат точки  $c$ . При побудові моделі руху роботизованої платформи в горизонтальній площині у відносній системі координат  $z=(z_1, z_2)$ , пов'язаної з рухомою платформою, передбачається:

- конструкція платформи є абсолютно жорсткою;
- впливом пасивного колісного модуля можна знехтувати;
- провідне (ведуче) колесо знаходиться в точковому контакті з поверхнею.

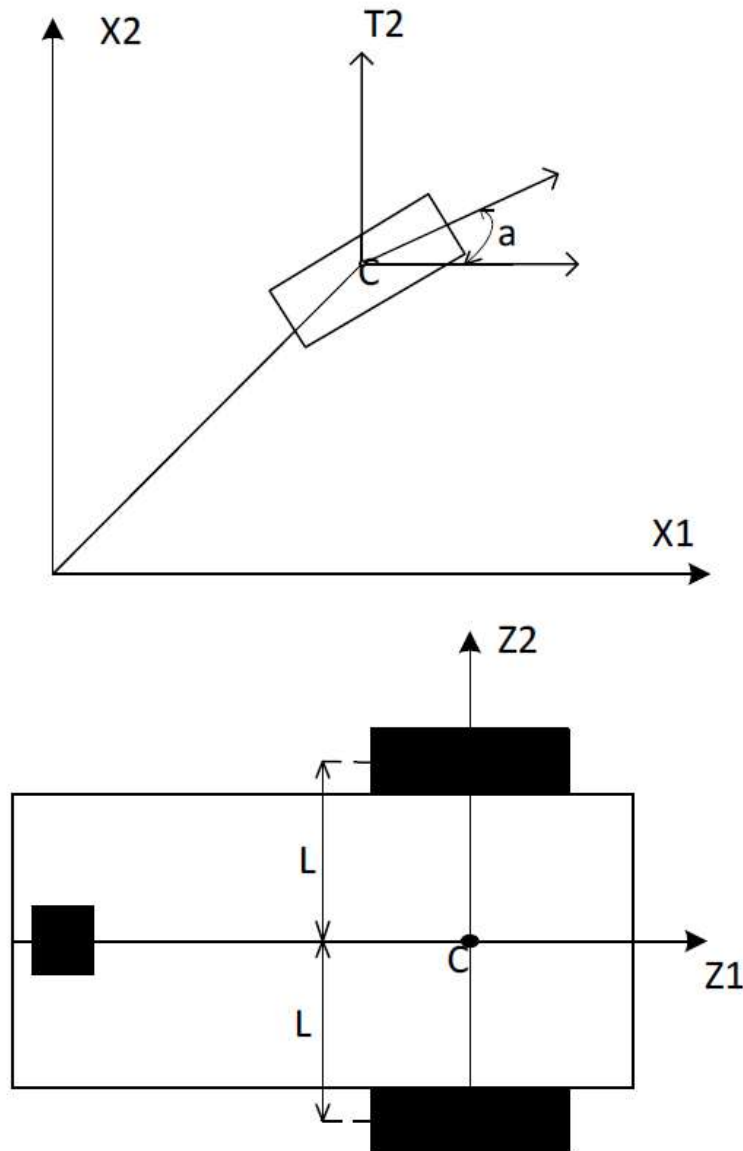


Рис. 1.9. Кінематична схема автоматизованої платформи

Дана модель не враховує масо-інерційні характеристики змодельованої платформи. Модель МРК описується наступними змінними і параметрами:

- $x_1^*(t), x_2^*(t)$  – бажана траєкторія;
- $x_1(t), x_2(t)$  – реальна траєкторія;
- $\hat{x}_1(t), \hat{x}_2(t)$  – оцінювана траєкторія;
- $L$  – відстань між колесами;

- $r$  - радіус коліс;
- $n_e$  – число імпульсів енкодера (датчика кута повороту) за один оберт;
- $k_{НС}$  – коефіцієнт пропорційності швидкості обертання і напруги якоря двигуна;
- $v_1(t), v(t)$  – швидкість (по координатам) центру візки в залежності від часу;
- $v(t) \geq 0$  – модуль швидкості центру платформи;
- $s(t) \geq 0$  – шлях центру платформи;
- $V(t) = \pm v(t)$  – модуль швидкості центру візки зі знаком «+», якщо робот їде вперед, і «-», якщо назад;
- $V_L(t), V_{\Pi}(t)$  – метраж центру платформи (інтеграл  $V(t)$  за часом);
- $S_L(t), S_{\Pi}(t)$  – модулі швидкості лівого і правого колеса;
- $N_L(t), N_{\Pi}(t)$  – метраж лівого і правого колеса;
- $n_e$  – кількість імпульсів енкодера з моменту запуску програми і до моменту  $t$ ;
- $\alpha(t)$  – кут повороту візка щодо осі  $OX_I$ ;
- $\omega(t)$  – кутова швидкість платформи.

Вирази, що описують модель, наведену нижче.

1.1) Шлях, пройдений обома колесами:

$$\widehat{S}_L = \frac{2\pi r}{n_e} * N_L \quad (1.8)$$

$$\widehat{S}_{\Pi} = \frac{2\pi r}{n_e} * N_{\Pi} \quad (1.9)$$

1.2) Метраж центру платформи:

$$\widehat{S} = \frac{\widehat{S}_L + \widehat{S}_{\Pi}}{2} \quad (1.10)$$

1.3) Модуль швидкості центру платформи:

$$\widehat{V} = \dot{\widehat{S}} \quad (1.11)$$

1.4) Швидкість візка по обох координатах:

$$\widehat{v}_1 = V \cos \alpha \quad (1.12)$$

$$\widehat{v}_2 = V \cos \alpha \quad (1.13)$$

1.5) Положення центру платформи:

$$\widehat{x}_1(t) = \int_0^1 \widehat{v}_1 dt + x_{10} \quad (1.14)$$

$$\widehat{x}_2(t) = \int_0^1 \widehat{v}_2 dt + x_{20} \quad (1.15)$$

1.6) Кут повороту платформи:

$$\hat{\alpha} = \frac{\widehat{S}_{\Pi} - \widehat{S}_{\text{Л}}}{L} + \alpha_0 \quad (1.16)$$

Маючи бажану траєкторію, яка описується рівняннями  $x_1^*(t), x_2^*(t)$ , необхідно забезпечити рух робота по цієї траєкторією. Тоді лінійна і кутова швидкості робота розраховуються за формулами:

$$v = \sqrt{\dot{x}_1^{*2} + \dot{x}_2^{*2}} \quad (1.17)$$

$$\omega = \frac{\dot{x}_1^* \ddot{x}_2^* - \dot{x}_2^* \ddot{x}_1^*}{\dot{x}_1^{*2} + \dot{x}_2^{*2}} \quad (1.18)$$

Кутові швидкості коліс можуть бути знайдені у відповідності з виразами

$$\omega_{\text{Л}} = \frac{v - 0.5 * \omega * L}{r} \quad (1.19)$$

$$\omega_{\text{П}} = \frac{v + 0.5 * \omega * L}{r} \quad (1.20)$$

На основі даних виразів здійснюється управління двигунами платформи.

## 1.6. Просторове позиціонування та розрахунок датчиків руху

Просторове позиціонування здійснюється приводом, що переміщує об'єкт з початкового у кінцеве положення, заданого програмно. Для визначення похибки необхідно провести дослідження на відхилення дійсного стану від запрограмованого не з макетом, а вже з прототипом робочої платформи.

Один із датчиків позиціонування платформи – датчик відстеження лінії (рис. 1.10). Датчик відстеження є датчиком інфрачервоного типу, де використовується інфрачервона трубка TCRT5000. Принцип роботи –

використовується різна віддзеркалена здатність інфрачервоного світла в залежності від кольору, а потім відбувається перетворення сили відбитого сигналу в поточний сигнал [3].

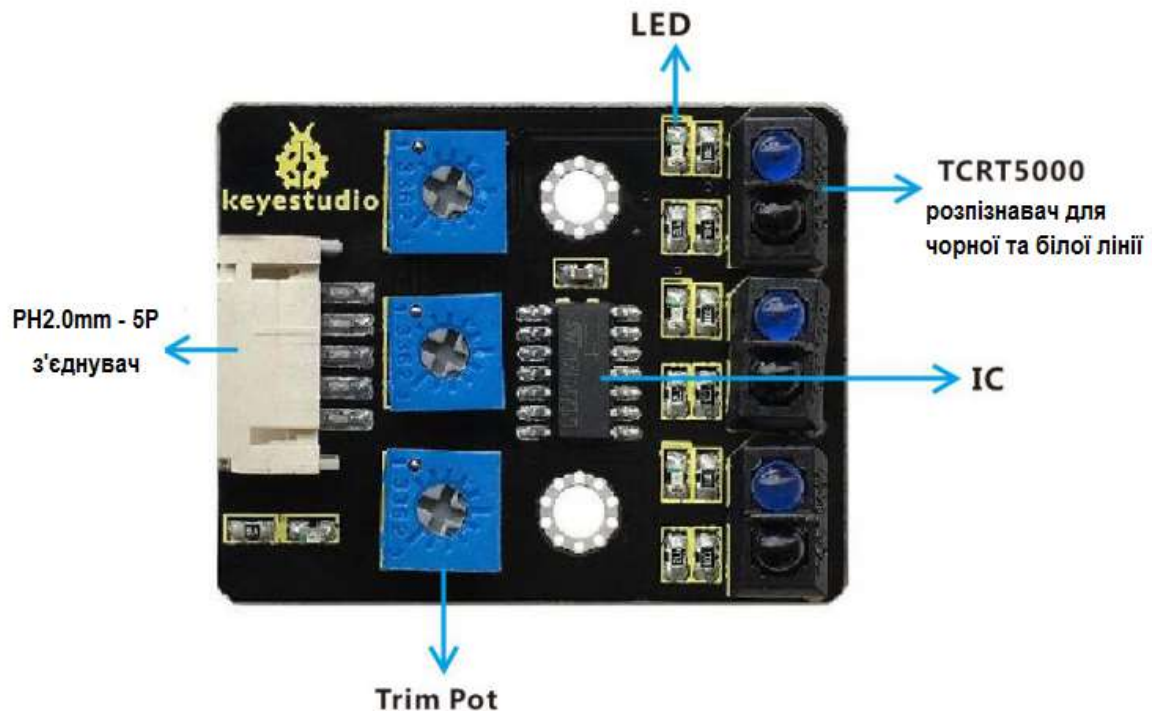


Рис. 1.10. Датчик відстеження лінії

У процесі виявлення чорний колір активний на високому рівні, а білий активний на низькому рівні. Висота виявлення даного датчика 0-3 см.

Для 3-канального модуля лінійного стеження інтегровано 3 комплекти інфрачервоної трубки TCRT5000 на одній платі – це зробить управління зручнішим. Можна повертати регульований потенціометр на датчику, він регулює чутливість виявлення датчика. При регулюванні світлодіода спереду тримера на межі між ВВІМК і ВІМК

, чутливість є найкращою [4].

Технічні характеристики:

- Робоча напруга: 3,3-5 В (DC)
- Інтерфейс: 5PIN
- Вихідний сигнал: цифровий сигнал
- Висота виявлення: 0-3 см



Принцип роботи датчика відстеження лінії: коли ліва інфрачервона трубка TCRT5000 виявляє білу лінію, загоряється світлодіодний модуль; виявивши чорну лінію, світлодіод гасне. Аналогічним чином ми використовуємо інші 2-сторонні інфрачервоні трубки TCRT5000 для виявлення чорно-білої лінії.

Інфрачервоний датчик для виявлення перешкод (рис.1.11) призначений для запобігання перешкод з регульованою дистанцією, який можна використовувати для колісного робота.

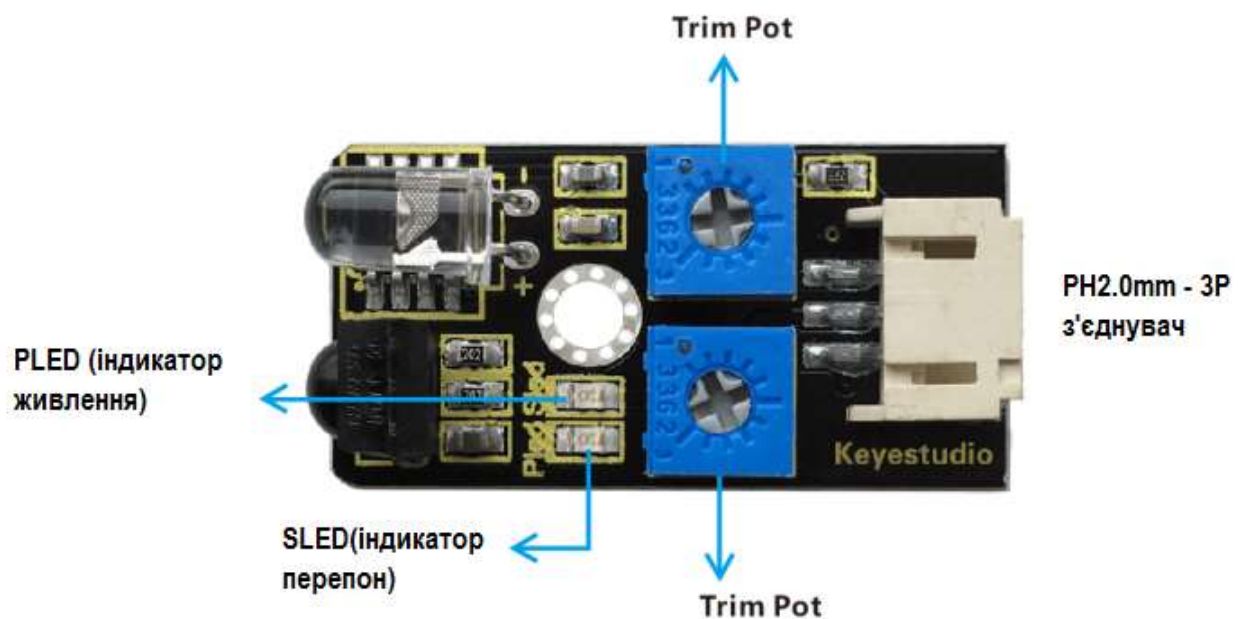


Рис. 1.11. Датчик виявлення перешкод

Він має пару інфрачервоних передавальних і прийомних трубок. Передавач випромінює інфрачервоні промені певної частоти. Коли напрямок виявлення стикається з перешкодою (поверхнею, що відбиває), інфрачервоні промені відбиваються назад, і приймальна трубка приймає даний сигнал. В цей момент часу спалахує індикатор. Після обробки схемою вихідний термінал сигналу буде виводити цифровий сигнал. Ефективна відстань складає 2-40 см, а робоча напруга 3,3 В-5 В.

Технічні характеристики датчика перешкод [3]:

- Робоча напруга: DC 3.3-5V
- Відстань виявлення: 2-40 см

- Інтерфейс: 3PIN
- Вихідний сигнал: цифровий

Принцип роботи: зчитується рівень сигналу датчика детектора перешкод, щоб визначити, виявлені перешкоди чи ні. При виявленні перешкоди сигнал датчика видає сигнал логічного 0 (LOW); в іншому випадку виведе HIGH – логічна 1. Коли будь-який датчик виявляє перешкоду (вихід 0), включається зовнішній світлодіодний модуль; в іншому випадку світлодіод вимикається.

Що стосується інфрачервоного приймального модуля (рис.1.12), він складається з інфрачервоної приймальної головки. Цей пристрій інтегрується з прийомом, посиленням і демодуляцією. Його управління здійснюється за допомогою інфрачервоного пульта дистанційного управління і інфрачервоної передачі даних.

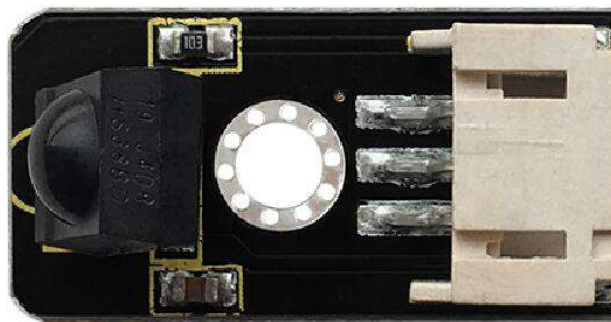


Рис. 1.12. Інфрачервоний датчик

Модуль інфрачервоного приймача має тільки три контакти (сигнал, VCC, GND), що є дуже зручним для зв'язку з Arduino та іншими мікроконтролерами.

Параметри ІЧ-приймача:

- Робоча напруга: 3,3-5 В (постійний струм)
- Інтерфейс: 3PIN
- Вихідний сигнал: цифровий
- Кут прийому: 90°
- Частота: 38 кГц
- Відстань прийому сигналу: 18 м

Дистанційне управління здійснюється також за допомогою модуля Bluetooth (рис.1.13).

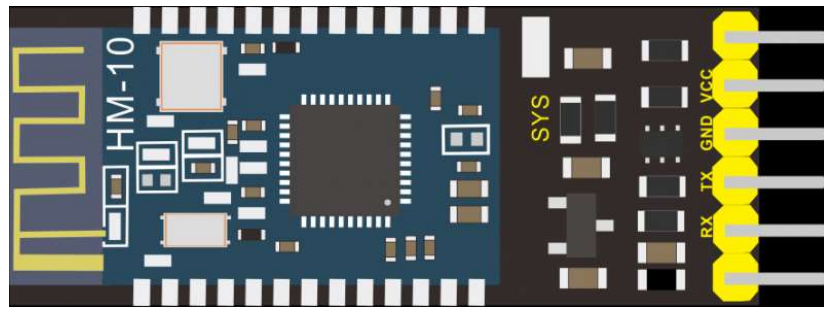


Рис. 1.13. Bluetooth-модуль HM-10

Технологія Bluetooth – це технологія бездротового стандарту, яка забезпечує обмін даними на короткій відстані між стаціонарними пристроями, мобільними пристроями та побудовою персональних мереж (з використанням УВЧ-радіохвиль (ультрависоких частот, дециметрові) в діапазоні ISM від 2,4 до 2,485 ГГц).

Модуль Bluetooth HM-10 підтримує протокол Bluetooth 4.0, який не тільки підтримує Android Mobile, але також підтримує систему iOS. Завдяки чому платформою можна керувати навіть з мобільного телефону. Тому за замовчуванням використовуємо модуль Bluetooth HM-10 в якості підпорядкованого пристрою, а мобільний телефон – в якості хоста.

Параметри модуля Bluetooth HM-10:

- Протокол Bluetooth: специфікація Bluetooth V4.0 BLE
- Немає обмеження в байтах в послідовному порту
- На відкритій площі охоплює 100-метрову відстань
- Протокол USB: USB V2.0
- Робоча частота: 2,4 ГГц ISM-діапазон
- Метод модуляції: GFSK (гауссівська частотна маніпуляція)
- Потужність передачі: -23 дБм, -6 дБм, 0 дБм, 6 дБм, можуть бути змінені командою AT.
- Чутливість:  $\leq -84$  дБм при 0,1% BER
- Швидкість передачі: асинхронна: 6 Кбайт; Синхронний: 6 Кбайт

- Функція безпеки: аутентифікація і шифрування
- Служба підтримки: центральний і периферійний UUID FFE0, FFE1
- Потужність: автоматичний режим очікування, струм в режимі очікування 400 ~ 800 мкА, 8,5 мА під час передачі.
- Електроживлення: 5V DC
- Робоча температура: від -5° до +65° за Цельсієм

Дистанційні датчики використовуються для визначення відстані від початкової точки розташування робота до точки розташування об'єкта. До одного з типів таких дистанційних датчиків належить ультразвуковий (рис. 1.14) [5].



*Рис. 1.14. Модель ультразвукового датчика HC-SR04*

Спрощено, принцип роботи даного датчика можна представити наступним чином. Вимірювач відстаней HC-SR04 створює звукові хвилі на частоті 40 кГц. Після того як ці хвилі відбиваються від об'єкта і повертаються на приймач, ультразвуковий датчик інформує про час, що затрачений на приймання відлуння сигналу (від датчика до об'єкта і назад). Наочно цей процес показаний на рис. 1.15.

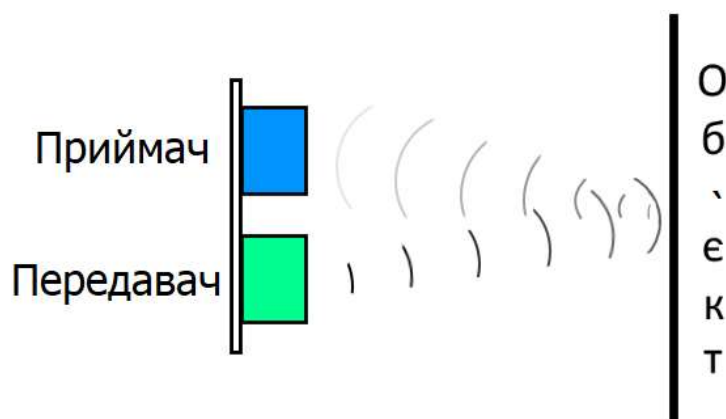


Рис. 1.15. Рух ультразвукового сигналу від передавача до приймача

Технічні характеристики:

- Робоча напруга: 5В постійного струму
- Максимальна дальність: 2-4м
- Робочий струм: 15 мА
- Кут сприйняття: 15 градусів
- Робоча частота: 40 кГц
- Критичний вхідний сигнал: 10 мкс

Ультразвуковий сигнал поширюється широконаправленою хвилею в  $30^\circ$ . Напрямок поширення ультразвукового сигналу з передавача показано на рис. 1.16. Найефективнішим кутом вимірювання є кут  $15^\circ$ . Сторонні об'єкти, що потрапляють під цей кут вимірювання, можуть збивати показання датчика.

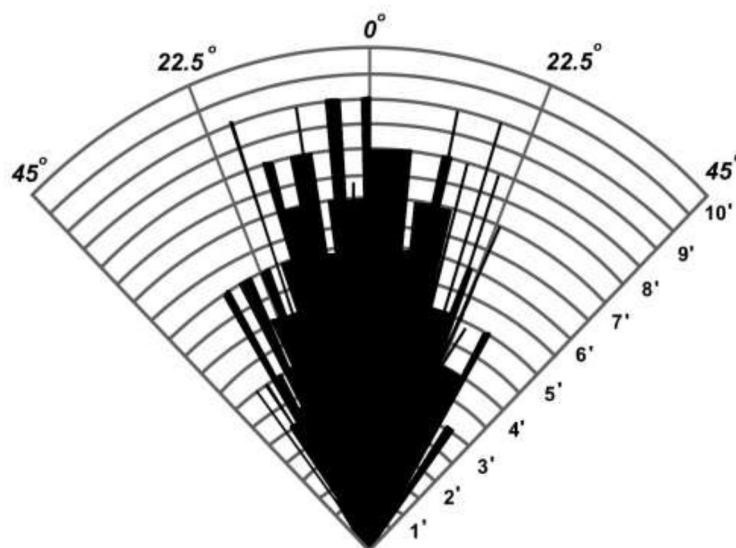


Рис. 1.16. Діаграма напруженості ультразвукової хвилі

Також, на покази впливає кут падіння хвилі. Таким чином, якщо датчик спрямований під кутом  $90^\circ$  до об'єкту, то вимірювання будуть найбільш точними. А якщо, кут падіння буде занадто великим (рис.1.17), то хвиля, відбившись від об'єкта, не потрапить в приймач, що призведе до невірного виміру.

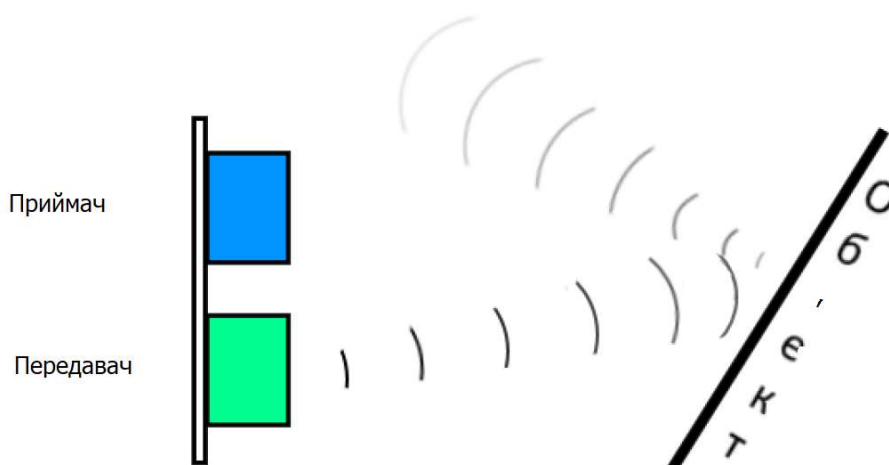


Рис. 1.17. Рух ультразвукового сигналу від передавача до приймача під кутом

Розглянемо розрахунок відстані від датчика (модель) до об'єкта. Сам датчик нічого не розраховує самостійно, а лише видає імпульс певної тривалості. Всі розрахунки здійснюються мікроконтролером. Розрахунок

відстані відбувається на підставі зафіксованого часу і виконуються обчислення за такою формулою:

$$S = vt; t = T, \text{ отже } S = vT/2 \quad (1.21)$$

де,  $v$  - швидкість звуку ( $\approx 340$  м / с);

$t$  - час руху хвилі від датчика до об'єкта.

$T$  - час руху хвилі від датчика до об'єкта і назад.

Ділити на два потрібно через те, що сигнал проходить відстань до об'єкта і назад, тоді коли потрібно тільки відстань до об'єкта. Якщо виміряти тривалість сигналу таймером, то його треба налаштувати так, щоб 1 розряд був еквівалентним 0,000001 с. Тоді залежність (1.21) виглядатиме так:

$$S = \frac{vT}{2} \Rightarrow S = vT_{im} \cdot 10^{-6}/2, \quad (1.22)$$

де  $T_{im}$  – кількість відліків таймера в мкс.

Остаточна форма виглядатиме таким чином:

$$S = \frac{340 \cdot T_{im} \cdot 10^{-6}}{2} = 170T_{im}/10^6, \quad (1.23)$$

Для того, щоб надати відстань в см, помножимо на 100. Відомо, що в мікроконтролері операції з плаваючою крапкою не передбачені. Тому для подальшого обчислення відстані будемо використовувати формулу (1.23), переведену у см. Або замінити число 0,017 на взаємно протилежне (1.24):

$$S = T_{im}/58,8, \quad (1.24)$$

Необхідно врахувати траєкторію поширення сигналу. З геометричної точки зору, знаходження відстані від датчика до об'єкта вимірювання, є знаходженням висоти рівнобедреного трикутника « $h$ » (рис.1.18). Однак варто зауважити, що за формулою (1.11) або оберненої до неї обчислюється довжина  $a$ .

Для знаходження висоти  $h$  звернемося до теореми Піфагора (1.25):

$$h^2 = a^2 - (b/2)^2, \quad (1.25)$$

де,  $h$  – відстань від датчика до об'єкта (висота рівнобедреного трикутника);

$a$  – відстань пройдене звуковою хвилею від передавача до об'єкта або від об'єкта до приймача (бічна сторона);

$b$  – відстань від передавача до приймача, для HC-SR04 (даного ультразвукового датчика)  $b = 3$  см.

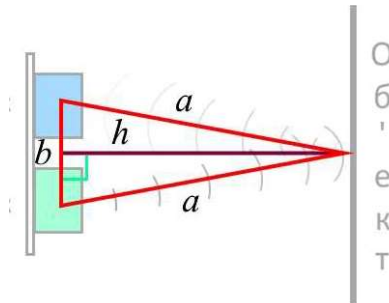


Рис. 1.18. Геометричне уявлення поширення звукової хвилі

Оскільки основа « $b$ » досить мала, вона буде мати значний вплив при малих значеннях « $a$ », інакше кажучи, при вимірюванні малих відстаней. Для прикладу візьмемо за « $h$ » мінімально і максимально можливі відстані вимірювання датчика, це 2 см і 400 см.

При значенні  $h = 2$  см отримуємо:

$$a = \sqrt{2^2 + 3^2/4} = \sqrt{4 + 2,25} = 2,5 \quad (1.26)$$

При  $h = 400$  см:

$$a = \sqrt{400^2 + 3^2/4} = \sqrt{160000 + 2,25} = 400,0028 \quad (1.27)$$

Виходячи з розрахунків, маємо наступне: при вимірюванні реальних 2 см до об'єкта, датчик покаже 2,5 см (похибка 25%), а при вимірі 400 см похибка становитиме всього лише 0,0007%. Для компенсації цієї похибки, знайдену за формулою (1.26) відстань необхідно перетворити в реальне:

$$S_{hcm} = \sqrt{S_{cm}^2 - 2.25}, \quad (1.28)$$

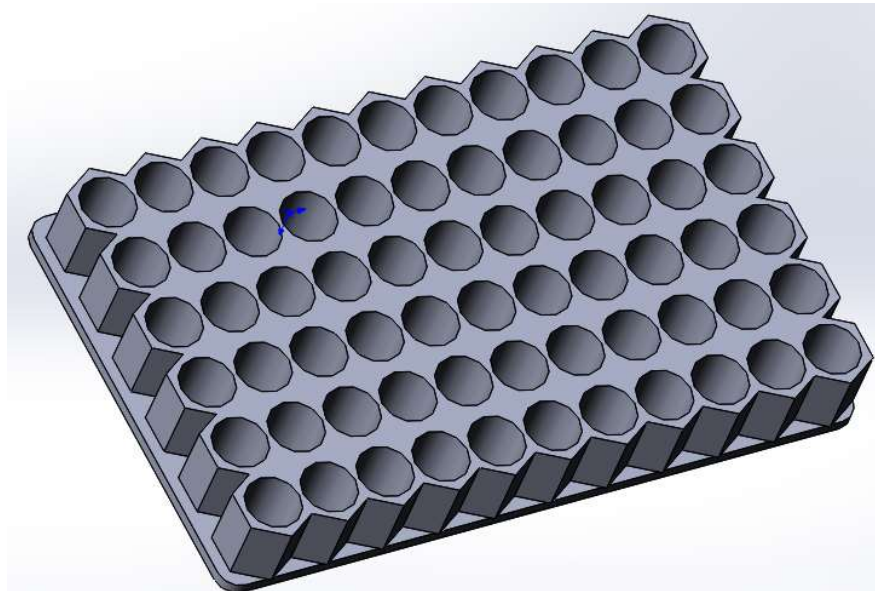
В цьому випадку виходить заявлена точність становить 0,3 мм.

## 1.7. Розроблення конструкції платформи та бункеру для деталей (соти)

При розробці бункеру для деталей слід врахувати конструкційні параметри деталей, що розміщуватимуться в комірках. Припустимо, що



маємо деталь циліндричної форми і бункер складається з циліндричних ніш (рис.1.19), розроблених під певну деталь, що виготовляються на виробництві. Коли виготовлення налагоджено і все працює, як годинник, деталі будуть з легкістю розміщуватись і вийматись. Якщо розглянути випадок, коли деталь не відповідатиме розмірам комірки бункера: наприклад, менші за габаритами деталі можна переміщувати, а більші за габаритами неможливо, оскільки, роботизований захват переміщує деталь в комірку бункера, а в момент стикування деталі з площиною комірки – відпускає без гарантованого правильного позиціонування у комірці. У разі незначного відхилення виникає ризик випадання деталі під час транспортування або ускладнення з демонтажем деталі комірки бункера після переміщення.

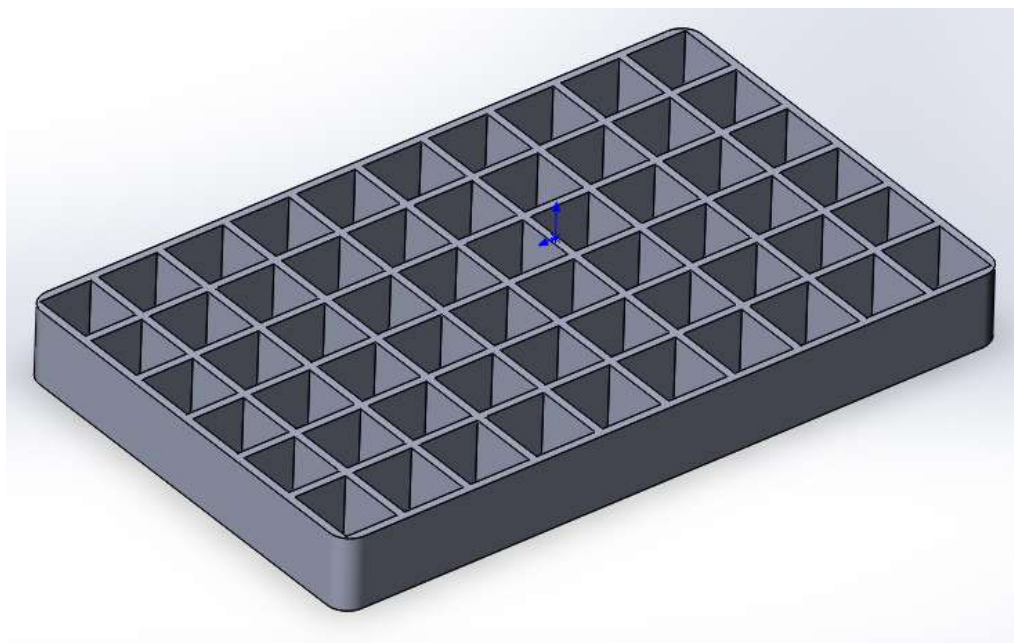


*Рис. 1.19.* Бункер з циліндричними нішами для деталей

Якщо деталь нециліндрична – має кути, навіть без похибки виготовлення її можна пошкодити. Кут може надколотися, затупитися (не в усіх випадках важливо) або деталь – застрягнути – витягнути буде можна, бо є простір між стінкою і деталлю за рахунок циліндричності внутрішньої комірки.

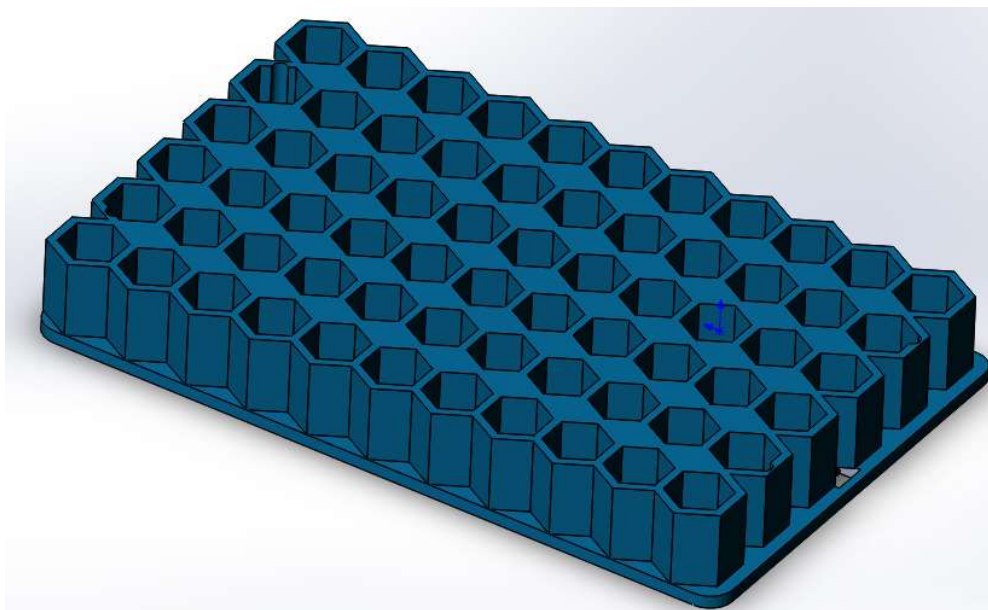
Розглянемо випадок, коли маємо квадратні (прямокутні) комірки (рис.1.20). Так, циліндричні деталі добре розмістяться, навіть кулька у квадрат ввійде майже ідеально. Обов'язково необхідно взяти до уваги висоту

виробу і хоча б на дві третини його висоти зробити комірку, щоб зменшити свободу вільного переміщення деталі і не могла випасти під час руху платформи. Коли ж деталь форми будь-якого паралелепіпеда, то вона може і надколоти, і застрягти, а якщо комірка зроблена точно під неї, то у разі неможливості дістати деталь, можливий варіант зняття бункеру з платформи для його очищення.



*Рис. 1.20.* Бункер з квадратними комірками зберігання

Як варіант, можна розробити бункер з шестигранними комірками (рис.1.21). За основу взяти правильний багатокутник – усі кути будуть тупими. Тіла обертання підтримуватимуться кутками, кулю можна з легкістю дістати призначеним для неї захватом. Багатогранники теж розмістяться добре і витягнути їх буде не складно. Для запобігання критичних ситуацій пропонується внутрішню частину комірки покрити гумою. А якщо деталь матиме стільки ж кутів, як і ніша бункера, краще замінити бункер на інший з більшою кількістю кутів, ніж у готового виробу, що транспортуватиметься.



*Рис. 1.21. Бункер з шестигранними комірками (сотами)*

В будь-якому випадку, треба передбачити можливі пошкодження деталі під час транспортування та запобігти їх виникненню. Як варіант, для довшого терміну використання бункеру, зробити гумову накладку на нього, оскільки замінити її буде дешевше, ніж виготовлення або купівля нового бункеру. В такому разі, слід врахувати, що декілька міліметрів простору у ніші займе захист; якщо деталь буде більшою за допустиму, з гуми її буде складніше дістати, ніж якщо б її не було. Але пошкодження виробу зведуться до мінімуму та він не втратить свого товарного вигляду.

### **1.8. Розроблення системи керування платформою**

Розглянемо кілька видів систем, що використовуються для автоматизованого управління об'єктами:

1. система, що стежить з можливістю позиціонування за допомогою зворотних датчиків дозволяє розробити на її базі різні мобільні платформи і управляти ними різними способами;
2. системи з цикловим управлінням позиціонуванням, що найчастіше використовуються для програмування верстатів з ЧПК; завдання таких систем полягає в тому, щоб максимально автоматизувати процес роботи;

3. системи з силовими приводами, де майже відсутнє управління і вихідні характеристики є умовно постійними в часі.

З огляду на поставлене завдання, структура системи управління платформою ґрунтуватиметься на системі з управлінням, яке стежить і з можливістю позиціонування за рахунок датчиків зворотного зв'язку. У таких системах управління можна забезпечувати застосуванням законів зміни швидкості (моменту на двигуні), а вибір мотор-редуктора і передачі ґрунтується не на потужності, а на граничних значеннях вихідних швидкостей і моментів на колесах.

На рисунку 1.22. наведено структурну схему системи управління автоматизованою платформою.

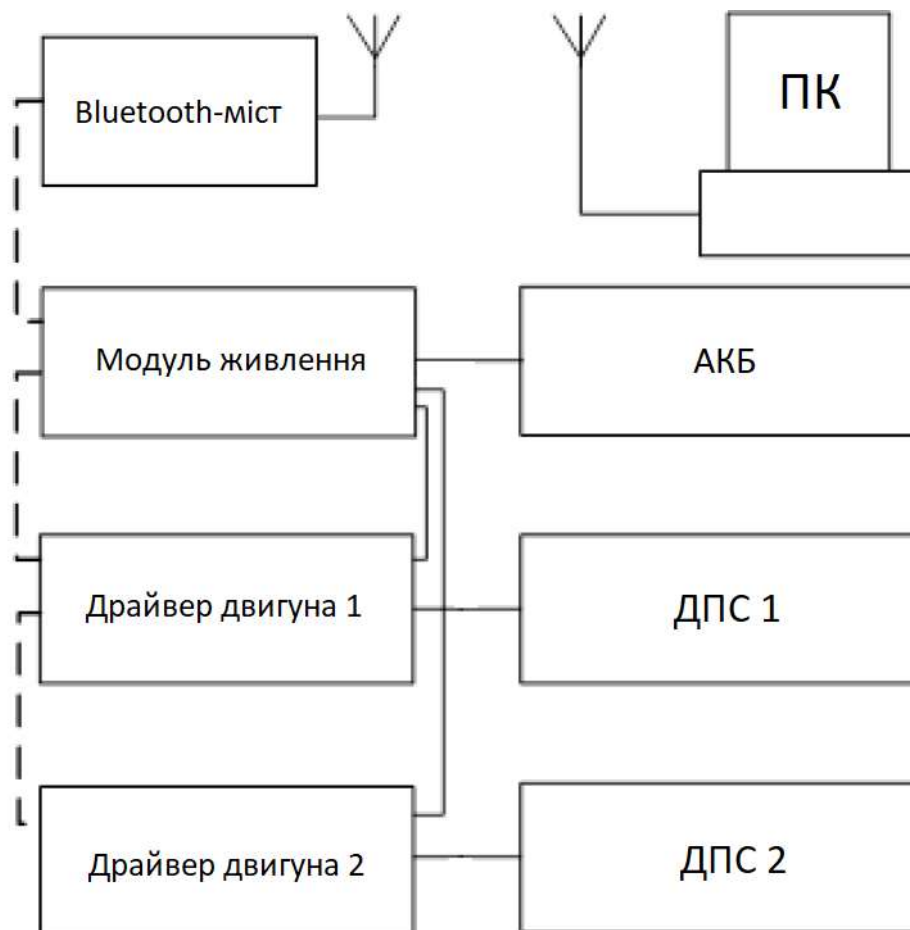


Рис. 1.22. Структурна схема системи управління МК

АКБ – акумуляторна батарея

ДПС – двигун постійного струму

ПК – персональний комп'ютер

Платформа, що рухається по змінно-направленій лінії – це система, що стежить за цією лінією, оскільки прагне скорегувати свій рух щодо неї [2].

Управління платформою забезпечується різницею ходу коліс, завдяки цьому здійснюється поворот[6]. Рідше в якості керуючого впливу застосовується поворот коліс. У даній роботі не раціонально застосовувати цей спосіб, з огляду на відмінності індивідуальних характеристик двигунів. Точність визначається помилкою, якої в даному випадку є відстань до межі лінії. Для забезпечення необхідної точності застосовуються різні види регуляторів.

Для забезпечення найбільшої точності використовуються регулятори, засновані на певних законах регулювання. Зазвичай, для задач «спостереження» за лінією використовують ПД-регулятор (пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор). ПД-регулятор складається з трьох частин: пропорційна, інтегральна і диференціальна. Пропорційна складова ПД-регулятора реагує на миттєву помилку регулювання. Інтегральна складова включає в себе накопичену помилку регулювання, що забезпечує додаткову швидкість досягнення заданої величини. Диференціальна складова залежить від швидкості зміни помилки і захищає від змін відносно заданої величини.

В платформі будуть використовуватися датчики для забезпечення наступних функцій:

- зчитування ліній з метою пересування вздовж без сторонньої участі;
- уникнення перешкод на шляху – можуть виникати з двох боків у напрямку руху, тому слід розташовувати на краях платформи з метою визначення перешкод та їх уникнення;
- автоматичного паркування, тобто визначення заданої відстані до об'єкту, наприклад стіни/конвеєру, в діапазоні 2-3 метри знадобиться ультразвуковий датчик;

- автономного управління у разі несправностей с мережею постачання електроенергії, інфрачервоний датчик прийматиме сигнал з пульту управління;

- бездротового управління з електронного пристрою використовуватиметься Bluetooth-модуль (у разі великої площі пересування можна замінити на Wi-Fi);

- забезпечення самого пересування, щоб надати крутий момент колесам, встановимо серводвигуни [3] незалежно один від одного – при повороті задамо рух коліс у різних напрямках, паралельно одне одному, завдяки чому платформа повертатиметься на місті.

Для управління датчиками необхідна керуюча плата з портами для з'єднання датчиків з платою Arduino [7] і розробка програмного коду. На плату при відлагодженні програми можна подавати живлення через USB-кабель з комп'ютера, підключивши його до роз'єму. При використанні пристрою вже з налаштованою програмою використаємо джерело живлення змінного струму – 4 батарейки типу AA або 2 батарейки типу 18650. Зазначені компоненти працюватимуть з напругою 3,3 В і 5В, що передбачено на електричною схемою (рис. 1.4). Спроектowana керуюча плата представлена на рис.1.23.

Як можна побачити на рис.1.23 присутні контакти для модулів зовнішніх датчиків. У випадку недостатньої освітленості приміщення, де працює платформа, можна підключити лампу 3.3В до роз'єму 2.54мм, з метою забезпечення освітлення робочої площини платформи. Якщо виробництво напіваавтоматизоване, для попередження зіткнення, зупинки та іншого можна встановити звуковий модуль і запрограмувати його видавати певні сигнали при виконанні вищезгаданих дій.



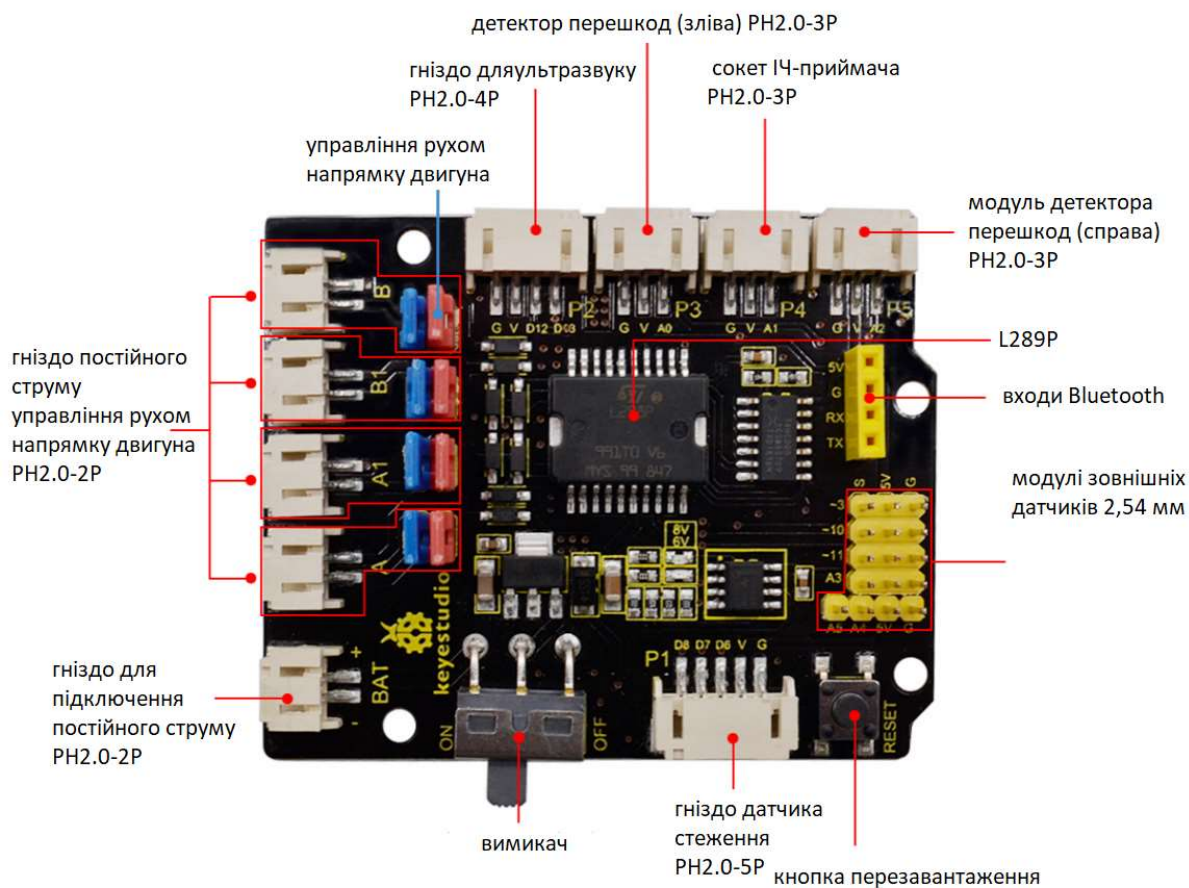


Рис. 1.23. Керуюча плата

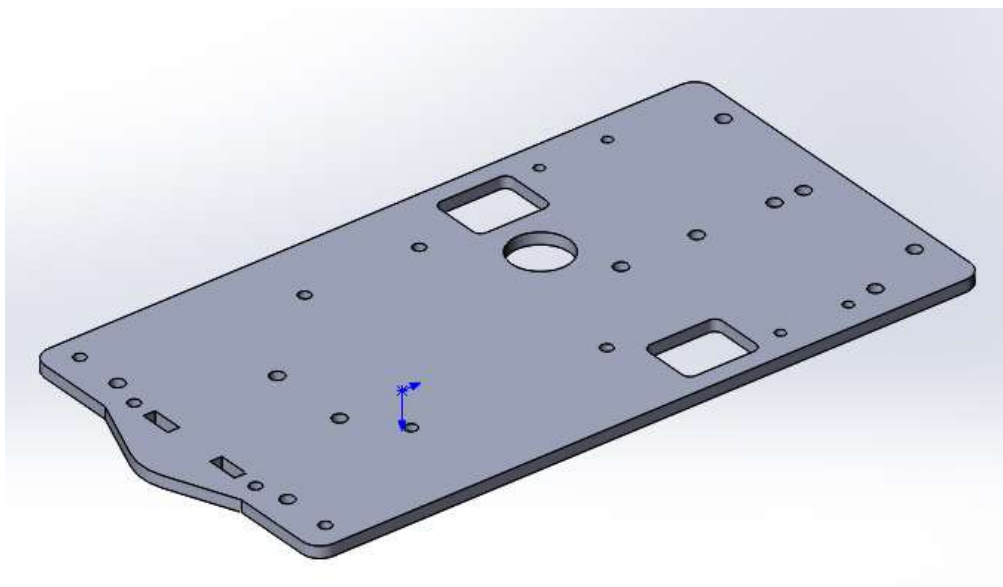


Рис. 1.24. Нижня плита з отворами для встановлення електронних складових

Всі датчики [4] будуть розташовані на нижній плиті (рис.1.24) платформи з метою уникнення їх пошкоджень під час функціонування механізму (рис. 1.25 і рис. 1.26):

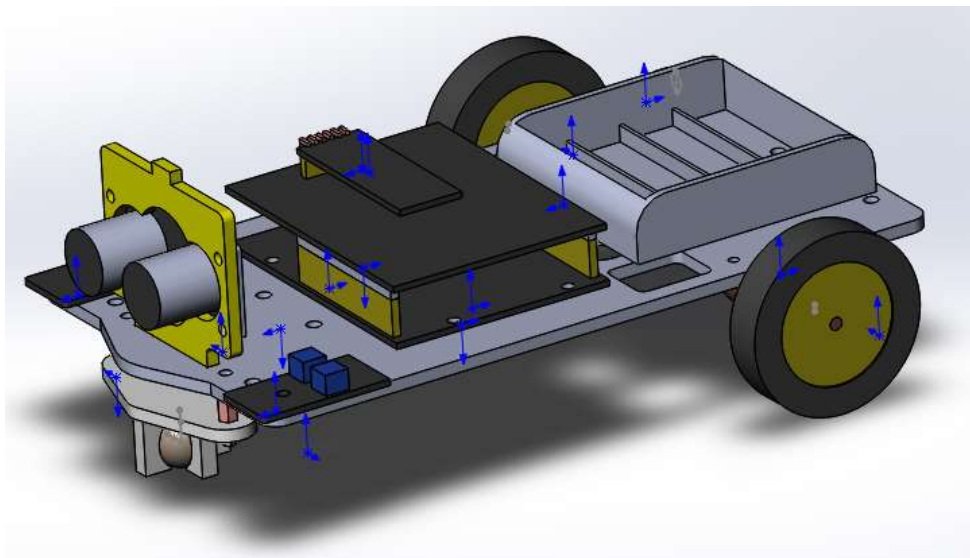
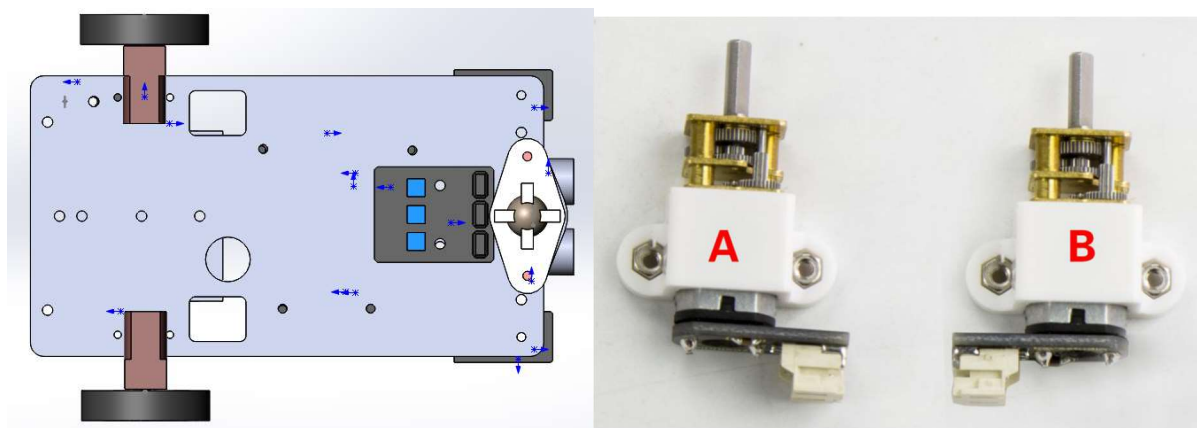


Рис. 1.25. Монтаж датчиків на нижній плиті платформи



а)

б)

Рис. 1.26. а) Розміщення серводвигунів і датчика відстеження лінії;

б) серводвигуни в тримачах

Серводвигуни закріпимо тримачами (рис. 1.26б). Попередньо передбачивши отвори для виведення дротів на поверхню розташування керуючої плати, кріпимо датчик відстеження ліній, встановлюємо бокс для елементів живлення. Функціональна схема з'єднання буде наступною (рис.1.27):





## 2. Встановити початкові значення.

Загальний алгоритм роботи пристрою показаний на рисунку 1.28.

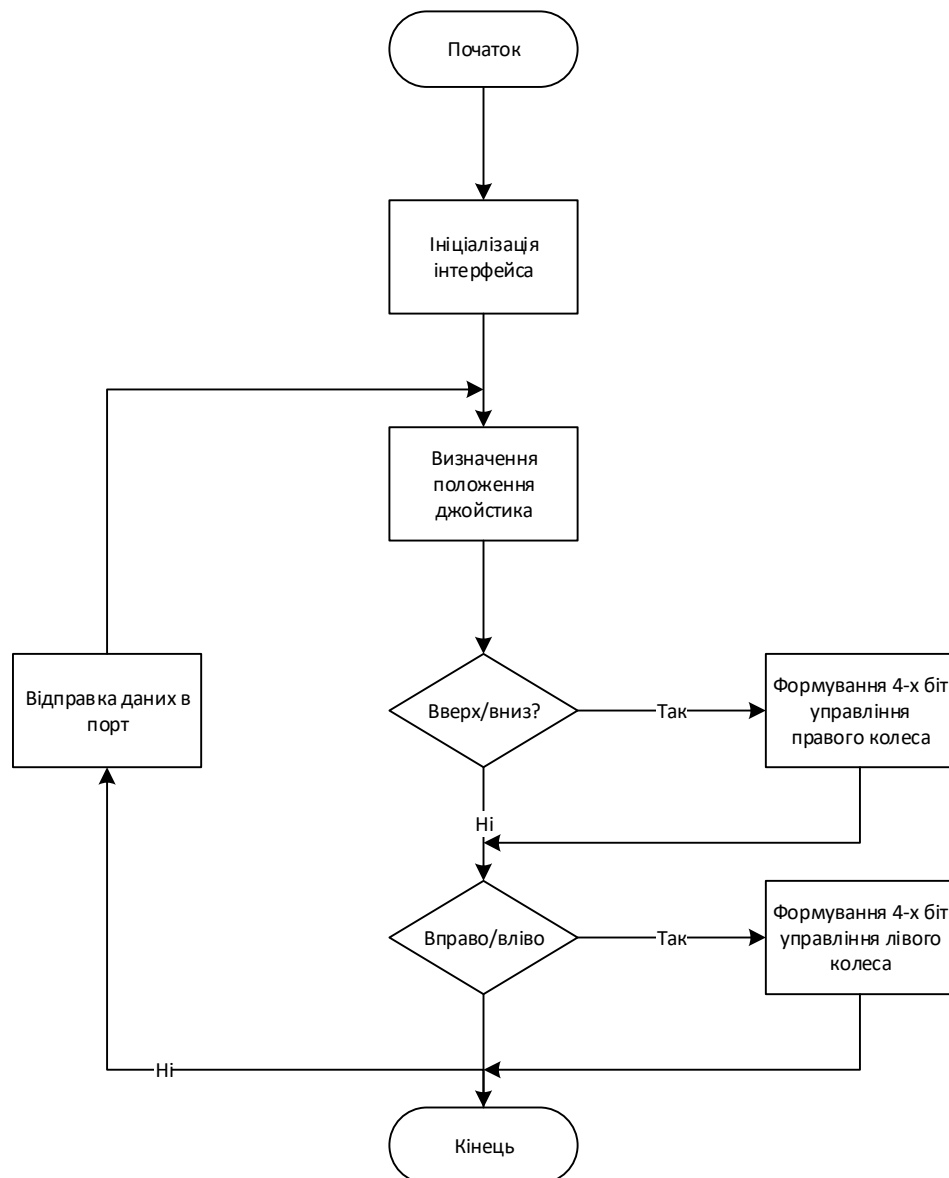


Рис. 1.28. Алгоритм роботи блоку управління платформою

Розглянемо більш детально умови і процеси роботи алгоритму програми.

1. Ініціалізація мікропроцесора.
  - 1.1. Прописування векторів переривань.
  - 1.2. Установка розміру стека.
  - 1.3. Установка ліній портів на вхід / вихід.
  - 1.4. Ініціалізація датчика.
  - 1.5. Завантаження налаштувань.

2. Управління початковими режимами роботи пристрою
  - 2.1. Очікування сигналу з порту для установки режиму роботи.
  - 2.2. Установка режиму руху.
  - 2.3. Вибір алгоритму руху.
3. Режим руху
  - 3.1. Визначення напрямку руху.
  - 3.2. Включення ШІМ на рівні 25%.
  - 3.3. Затримка 0,2 сек.
  - 3.4. Плавне наростання до 100%.
4. Обробка помилок
  - 4.1. Помилка помилкових підключень по bluetooth.
  - 4.2. Помилка при відключенні керуючого пристрою.
5. Обробка алгоритму руху
  - 5.1. Визначення сигналу на виході bluetooth пристрою.
  - 5.2. Визначення виведення сигналу на керуючий порт.
6. Підготовка до прийому наступних результатів вимірювань

Перемикачі програми режимів роботи можна шляхом зміни потенціалів контактів A1 A2 A3 A4 де кожна цифра позначає порт схеми управління силовим пристроєм.

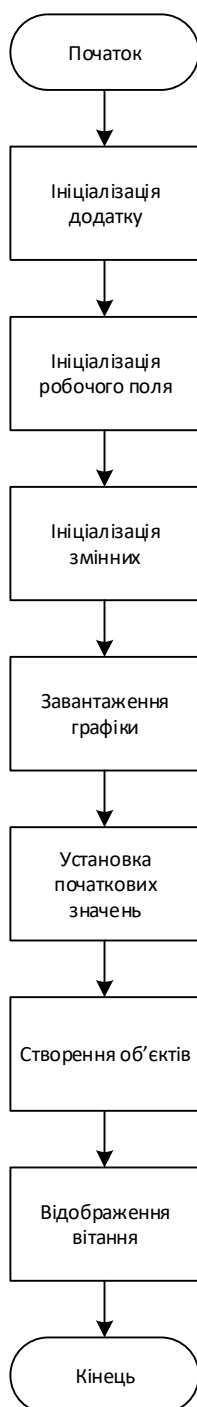


Рис. 1.29. Алгоритм ініціалізації додатку

Алгоритми роботи програми на мобільній стороні діляться на кілька складових, а саме загальні алгоритми і алгоритми окремих процедур[7]. Приклад загального алгоритму відображений на рис 1.28. Даний алгоритм відображає принцип роботи програми на стороні користувача, сенс якого полягає в тому, щоб встановити всі початкові значення до початку роботи.

Завершальним етапом, є опис алгоритму надіслання повідомлення по інтерфейсу.

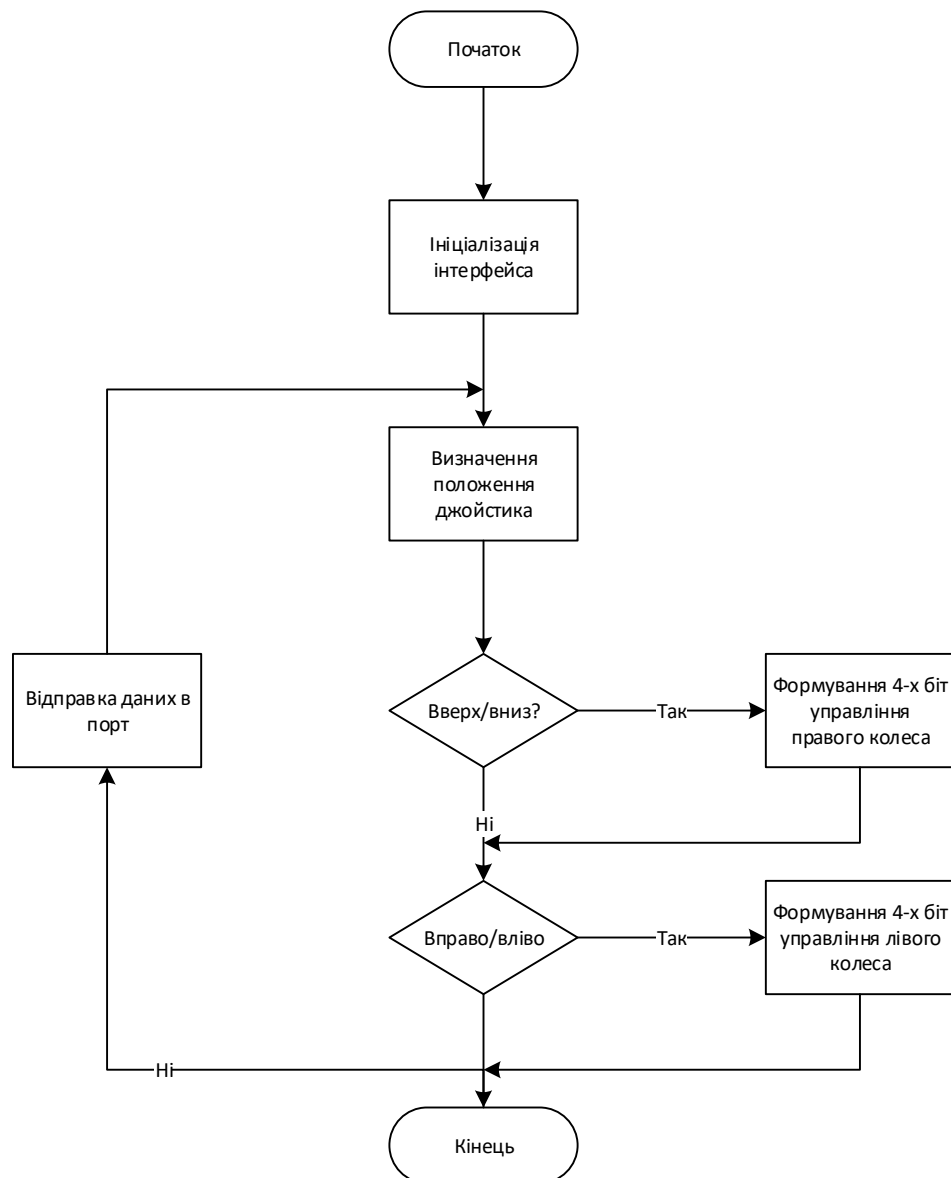


Рис. 1.30. Алгоритм обробки інтервалу руху

Програмний код для управління платформою був розроблений у середовищі (рис.1.31) Arduino [8]. Фрагмент програмного коду у середовищі представлений на рис1.32.



Рис. 1.31. Вікно запуску середовища для розроблення програмної складової

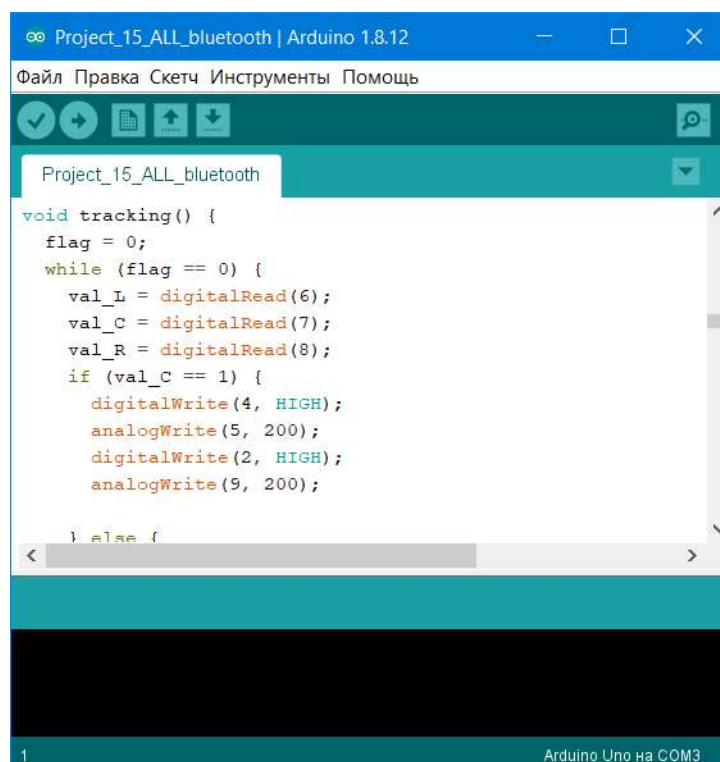


Рис. 1.32. Фрагмент програмного коду управління платформою

Відомо, що значення, що отримується з ультразвукового далекоміра, представлено у вигляді числа з плаваючою точкою і лежить на проміжку [20; 4000] (за технічними характеристиками далекомір здатний вимірювати відстань в проміжку від 20 до 4000 мм [9]); визначено, що точність вимірювання складає 0.3мм.

Для зручності зчитування лінії, якою рухатиметься платформа обрано датчик відстеження лінії з потрібною інфрачервоною трубкою.

Для попередження зіткнення на шляху встановлено на передніх кутах плити по одному датчику визначення перешкод. Їх буде запрограмовано так, що платформа оминатиме перешкоди і продовжуватиме шлях далі. Отже всі характеристики датчиків відомі, заключний код програмного забезпечення додається (Додаток Д).

**Висновок до розділу.** У конструкторському розділі розглянуто відомі види роботизованих платформ. Зроблено математичний аналіз пристрою. Спроектовано електричну схему автоматизованої платформи, обрано функціонал та відповідні датчики, зроблено розрахунок похибки вимірювання ультразвукового датчика. Розроблено та спроектовано конструкцію плити для розташування датчиків і бункер для транспортування деталей. У середовищі розробки Arduino розроблено систему управління платформою для транспортування за складеними алгоритмами.

## **2. Технологічний розділ**



## 2.1. Відпрацювання конструкції платформи на технологічність

Під технологічністю розуміють одну з комплексних характеристик складання виробу та складальних одиниць без подальшої підгонки, яка характеризує зручність його виготовлення, ремонту та властивості при експлуатації. Технологічність забезпечується економічно доцільними допусками в розмірних, кінематичних та електричних ланцюгах. Технологічними виробами є ті, які забезпечують паралельність складання, можливість диференціації складання, найбільшу уніфікацію та нормалізацію деталей, можливість використання автоматизації процесів складання при найменшій кількості матеріалів та обладнання, що забезпечує скорочення виробничого циклу[10].

Щоб розрахувати параметри технологічності автоматизованої платформи необхідно визначити кількість уніфікованих деталей за специфікацією (табл. 2.1), кількість уніфікованих складальних одиниць (табл. 2.2) та кількість уніфікованих операцій (табл.2.3).

Табл.2.1. Опис деталей платформи

№	Назва деталі	Кількість деталей	Уніфікація
1	Нижня плита	1	н/уніф
2	Верхня плита	1	уніф
3	Передня панель	1	н/уніф
4	Установча стійка	2	уніф
5	Стійка М3х40	4	уніф
6	Установча стійка М3х8+6	6	уніф
7	Гвинт М3х8	2	уніф
8	Гвинт М2х10	4	уніф
9	Гвинт М3х10	7	уніф
10	Гайка М3	17	уніф
11	Гайка М2	4	уніф

Продовження табл.2.1.

12	Гвинт М3х6	8	уніф
13	Подвійний дріт	2	н/уніф
14	Потрійний дріт	3	н/уніф
15	Чотирьохдротовий з'єднувач	1	н/уніф
16	П'ятидротовий з'єднувач	1	н/уніф

Табл.2.2. Опис уніфікації складальних одиниць автоматизованої платформи

№	Назва СО	Кількість	Уніфікація
A1	Серводвигун СК	2	уніф
A2	Датчик відстеження ліній СК	1	уніф
A3	4-елементний бокс акумулятора	1	уніф
A4	Колесо-куля у тримачі	1	н/уніф
A5	Контролер Arduino UNO Rev3	1	уніф
A6	Модуль детектора перешкод	1	уніф
A7	Ультразвуковий модуль	1	уніф
A8	Контролер Arduino UNO Rev3 СК	1	н/уніф
A9	Передня панель СК	1	н/уніф

Табл.2.3. Опис уніфікації операції складання платформи

№	Назва операції	Уніфікація
1	Складання	н/уніф
2	Контроль	уніф
3	Випробування	н/уніф

Розрахуємо критерії технологічності приладу:

➤ Критерій складності виробу:

$$K_{\text{скл}} = \frac{N\Sigma}{n\Sigma} \quad (2.1)$$

$N_{\Sigma}$  - число основних складальних одиниць виробу;

$n_{\Sigma}$  - число всіх деталей виробу по специфікації;

$K_{\text{скл}} < 0,2$  – технологічність незадовільна;

$0,2 < K_{\text{скл}} < 0,4$  – технологічність задовільна;

$K_{\text{скл}} > 0,4$  – технологічність добра;

$K_{\text{скл}} = \frac{10}{64} = 0.156$  – технологічність незадовільна;

➤ Критерій уніфікації виробу:

$$K_y = \frac{(N_y + n_y)}{(N_{\Sigma} + n_{\Sigma})} \quad (2.2)$$

$N_y$  – число уніфікованих складальних одиниць;

$n_y$  – число уніфікованих деталей;

$K_y < 0,25$  – технологічність незадовільна;

$0,25 < K_y < 0,5$  – технологічність задовільна;

$K_y > 0,5$  – технологічність добра;

$K_y = \frac{7+56}{10+64} = \frac{63}{74} = 0.85$  – технологічність добра;

➤ Показник уніфікації складальних одиниць:

$$K_{\text{усо}} = \frac{N_y}{N_{\Sigma}} \quad (2.3)$$

$K_{\text{усо}} < 0,2$  – технологічність незадовільна;

$0,2 < K_{\text{усо}} < 0,4$  – технологічність задовільна;

$K_{\text{усо}} > 0,4$  – технологічність добра;

$K_{\text{усо}} = \frac{7}{10} = 0,7$  – технологічність добра;

➤ Показник уніфікації деталей:

$$K_{\text{уд}} = \frac{n_y}{n_{\Sigma}} \quad (2.4)$$

$K_{\text{уд}} < 0,3$  – технологічність незадовільна;

$0,3 < K_{\text{уд}} < 0,6$  – технологічність задовільна;

$K_{уд} > 0,6$  – технологічність добра;

$K_{уд} = \frac{56}{64} = 0.875$  – добра технологічність;

➤ Показник уніфікації технологічного процесу:

$$K_{ун.опер.} = \frac{K_{ун.опер}}{K_{заг.опер}} \quad (2.5)$$

$K_{ун.опер}$  – число уніфікованих операцій;

$K_{заг.опер}$  – загальне число операцій.

$K_{ун.опер} < 0,5$  – технологічність незадовільна;

$0,5 < K_{ун.опер} < 0,75$  – технологічність задовільна;

$K_{ун.опер} > 0,75$  – технологічність добра;

$K_{ун.опер} = \frac{1}{3} = 0.33$  – технологічність незадовільна;

➤ Комплексний показник уніфікації виробу:

$$K_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} \quad (2.6)$$

$n$  – загальна кількість показників технологічності;

$K_{\Sigma} < 0,3$  – технологічність незадовільна;

$0,3 < K_{\Sigma} < 0,5$  – технологічність задовільна;

$K_{\Sigma} > 0,5$  – технологічність добра;

$K_{\Sigma} = \frac{0,156 + 0,85 + 0,7 + 0,875 + 0,33}{5} = 0,582$  – технологічність добра;

Отже, в результаті розрахунків було отримано добру технологічність автоматизованої платформи, що в результаті скорочуватиме час на виготовлення всього приладу.

## 2.2. Визначення геометричної точності складання платформи

Забезпечення розмірної (геометричної) взаємозамінності – стандартне завдання при складанні ланцюгів механізмів, яке ґрунтується на розрахунку розмірних ланцюгів [9].

Розмірний ланцюг (РЛ) – сукупність (або скінченна множина) розташованих за замкненим контуром у певній послідовності розмірів, які координують взаємне розміщення поверхонь або осей однієї або кількох деталей [9].

Для визначення розмірної взаємозамінності схематично зобразимо на рис. 2.1 РЛ та визначимо ланки, які визначатимуть взаємне розміщення елементів. На рис. 2.2 представлено лінійну схему для визначення геометричної точності складання.

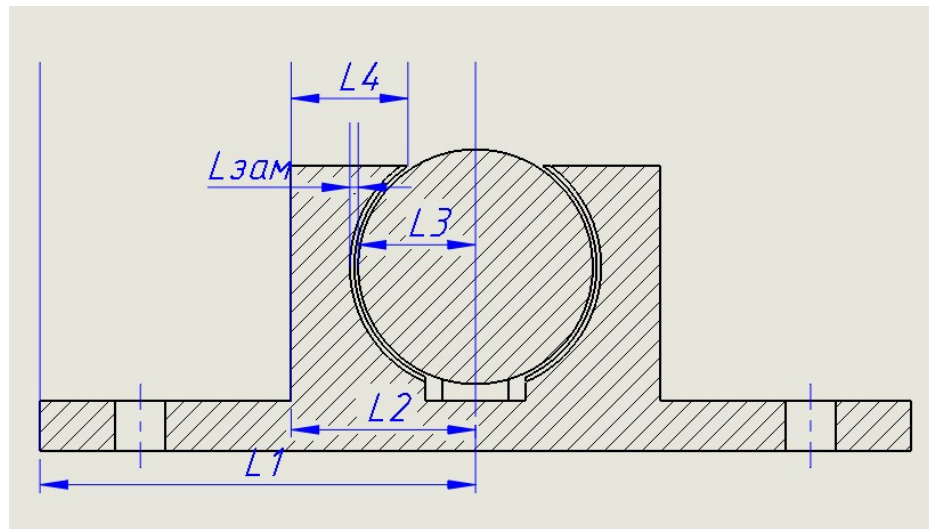


Рис. 2.1. РЛ одного з коліс платформи

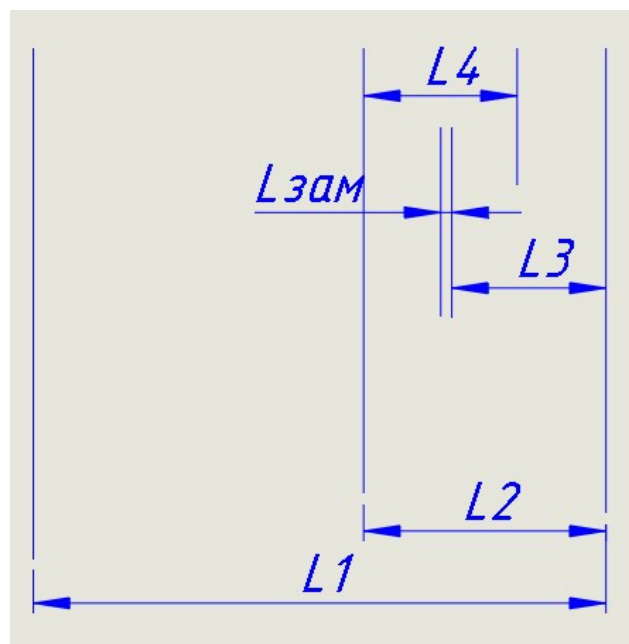


Рис. 2.2. Схема розмірного ланцюга

Таблиця 2.4. Характеристика ланок розмірного ланцюга

Розмір	Номінальне значення	Допуск	Тип
L1	25,90 мм	0,17 мм	Збільшуюча
L2	11 мм	0,11 мм	Зменшуюча
L3	7 мм	0,03 мм	Зменшуюча
L4	6,90 мм	0,03 мм	Зменшуюча

$$\text{Номінальне значення: } L_{\text{зам}}: A_{\text{зам}} = \sum A_{\text{ізб}} + \sum A_{\text{ізм}} \quad (2.1)$$

$$A_{\text{зам}} = 25,90 - (11 + 7 + 6,90) = 1 \text{ мм.}$$

### Розрахунок замикаючої ланки координатним методом

$$\text{Визначаємо допуск замикаючої ланки: } \delta_{\text{зам}} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|, \quad (2.2)$$

як суму допусків всіх складових ланок розмірного ланцюга. Далі потрібно визначити зміщення допуску відносно  $L_{\text{зам}}$ . Для цього необхідно визначити координати відхилень допуску: верхнього(ВВ) та нижнього(НВ).

Розрахуємо ВВ та НВ за формулами:

$$\begin{aligned} \text{ВВ}_{\text{зам}} &= K_{\text{зам}} + 0.5\delta_{\text{зам}}; \\ \text{НВ}_{\text{зам}} &= K_{\text{зам}} - 0.5\delta_{\text{зам}}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

де  $K_{\text{зам}}$  – координата середини допуску замикаючої ланки і визначається:

$$K_{\text{зам}} = \sum_1^m K_{\text{ізб}} + \sum_1^m K_{\text{ізм}}. \quad (2.4)$$

Отже:

$$K_{\text{зам}} = (0,085) - (0,055 + 0,015 + 0,015) = 0;$$

$$\delta_{\text{зам}} = 0,17 + 0,11 + 0,03 + 0,03 = 0,34 \text{ мм.}$$

Звідси:

$$\text{ВВ}_{\text{зам}} = 0 + 0.5 * 0,34 = +0,17 \text{ мм;}$$

$$\text{НВ}_{\text{зам}} = 0 - 0,5 * 0,34 = -0,17 \text{ мм;}$$

$$L_{\text{зам}} = 1_{-0,17}^{+0,17}.$$

### Екстремальний метод з урахуванням номіналів

Спочатку визначаємо максимальне та мінімальне значення замикаючої ланки:

$$\begin{aligned} L_{\text{зам}}^{\text{max}} &= \sum_1^n L_{i\text{зб}}^{\text{max}} - \sum_1^n L_{i\text{зм}}^{\text{min}}; \\ L_{\text{зам}}^{\text{min}} &= \sum_1^n L_{i\text{зб}}^{\text{min}} - \sum_1^n L_{i\text{зм}}^{\text{max}}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Далі рахуємо верхнє та нижнє відхилення:

$$\begin{aligned} \text{ВВ}_{\text{зам}} &= L_{\text{зам}}^{\text{max}} - L_{\text{зам}}; \\ \text{НВ}_{\text{зам}} &= L_{\text{зам}}^{\text{min}} - L_{\text{зам}}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Отже:

$$\begin{aligned} L_{\text{зам}}^{\text{max}} &= 26,07 - (11 + 7 + 6,9) = 1,17 \text{ мм}; \\ L_{\text{зам}}^{\text{min}} &= 25,9 - (11,11 + 7,03 + 6,93) = 0,83 \text{ мм}; \\ \text{ВВ}_{\text{зам}} &= 1,17 - 1 = +0,17 \text{ мм}; \\ \text{НВ}_{\text{зам}} &= 0,83 - 1 = -0,17 \text{ мм}; \\ L_{\text{зам}} &= 1_{-0,17}^{+0,17}. \end{aligned}$$

### Екстремальний безномінальний метод

Рахуємо верхнє і нижнє відхилення за формулами:

$$\begin{aligned} \text{ВВ}_{\text{зам}} &= \sum_1^n \text{ВВ}_{i\text{зб}} - \sum_1^n \text{НВ}_{i\text{зм}}; \\ \text{НВ}_{\text{зам}} &= \sum_1^n \text{НВ}_{i\text{зб}} - \sum_1^n \text{ВВ}_{i\text{зм}}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Маємо:

$$\begin{aligned} \text{ВВ}_{\text{зам}} &= 0,17 - 0 = +0,17 \text{ мм}; \\ \text{НВ}_{\text{зам}} &= 0 - 0,17 = -0,17 \text{ мм}; \\ L_{\text{зам}} &= 1_{-0,17}^{+0,17}. \end{aligned}$$

Отже, після проведення розрахунків замикаючої ланки координатним методом, методом з урахуванням номіналів та безномінальним методом, бачимо, що відповіді співпали і задача вирішена правильно. Слід врахувати, що геометрична точність рахувалась на половину складальної одиниці.

## **2.3. Розроблення технологічного процесу складання платформи**

### *2.3.1. Проектування структурної схеми складання платформи*

Спроековано схему ступенів складання платформи (ДП.ПБ6118.1702.005 СХ, додаток А), яка відображає елементарні складові конструкції та, безпосередньо, деталі.

Автоматизована платформа містить 9 складальних одиниць – куди входять складові першого і другого рівнів. Загальна кількість деталей становить 80 штук, що розміщуються у наступній послідовності:

Складові четвертого рівня, які кріпляться до майже складеної платформи:

- ❖ Верхня платформа(поз.2) 1 шт., гвинт МЗ\*10(поз.9) 4 шт.;
- ❖ Стійка МЗ\*40(поз.5) 4 шт., Гвинт МЗ\*6(поз.12) 4 шт.;
- ❖ Подвійний дріт(поз.25) 2 шт.;
- ❖ Потрійний дріт(поз.26) 3 шт.;
- ❖ 4-дротовий з'єднувач(поз.27) 1 шт.
- ❖ 5-дротовий з'єднувач(поз.28) 1 шт.;

Складові другого рівня:

- ❖ Датчик відстеження ліній, до якого кріпляться деталі четвертого рівня – установча стійка(поз.4) 2 шт., гайка(поз.10) 2 шт., гвинт МЗ\*8(поз.7) 2 шт.;
- ❖ 4-елементний блок акумулятора зі складовими четвертого рівня: нижня платформа(поз.1) 1 шт., гвинт МЗ\*10(поз.9) 2 шт., гайка МЗ(поз.10) 2 шт.;



- ❖ Колесо-куля у тримачі з деталями четвертого рівня: гайка М2(поз.11) 2 шт., установча стійка(поз.6) 2 шт., гвинт М3\*6(поз.12) 2 шт.
- ❖ Модуль детектора перешкод, до якого кріпляться деталі четвертого рівня: М3\*10(поз.9) 2 шт., гайка М3(поз.10) 2 шт.;

Складові першого рівня:

- ❖ Серводвигун СК: до складу входять деталі третього рівня – серводвигун(поз.17) 2 шт., моторне колесо(поз.22) 2 шт., тримач колеса(поз.23) 2 шт. та складова четвертого рівня – гайка М2(поз.11) 4 шт.;
- ❖ Контролер Arduino UNO Rev3 СК: контролер Arduino UNO Rev3(поз.13) 1 шт. другого рівня, третього рівня Bluetooth-модуль(поз.19) 1 шт., плата керування(поз.14) 1 шт. та четвертого М3\*10(поз.9) 4 шт., установча стійка(поз.6) 4 шт., гайка М3(поз.10) 4 шт.;
- ❖ Передня панель СК: складова другого рівня – ультразвуковий модуль, четвертого рівня – М3\*10(поз.9) 4 шт., гайка М3(поз.10) 4 шт.;

Структурна схема не відображає процес складання повною мірою, тому для наочності технологічного процесу було розроблено технологічну схему складання.

### *2.3.2. Проектування технологічної схеми складання платформи*

В дипломному проекті було спроектовано технологічну схему складання (ДП.ПБ6118.1702.006 СХ, додаток А). Схема ілюструє в якій послідовності необхідно складати виріб. На схемі чітко видно, які деталі кріпляться до нижньої плити поз.1. Першим складається два вузла серводвигунів СК А1: у тримач колеса поз.23 встановлюються у спеціальні ніші гайки поз.11, потім він встановлюється на серводвигун поз.17. На штифт, що є невід'ємною складовою серводвигуна встановлюється колесо

поз.22 – ця складальна одиниця кріпиться до нижньої платформи поз.1 гвинтами поз.8. З нижньої сторони платформи буде встановлено датчик відстеження ліній A2, для його кріплення встановимо на нього установчі стійки поз.4 та закріпимо їх гайками поз.10 та гвинтами поз.9 на плиті поз.1. Перевернемо платформу на 180° та встановимо для елементів живлення чотириелементний бокс акумулятора A3 за допомогою гвинтів поз.7 та гайок поз.10. Щоб платформа могла нормально пересуватися – встановимо третю точку опори, тобто третє колесо. Воно заздалегідь виготовлене вже у тримачі та має форму кулі, отже може рухатися у будь-якому напрямку. Тож, колесо у тримачі A4 з'єднуємо з гайками поз.11, встановлюємо установчі стійки поз.6 і кріпимо до платформи гвинтами поз.12.

Контролер у складі A8 складається наступним чином: встановлюємо на контролер A5 установчі стійки поз.6 і кріпимо гвинтами поз.9. На контролер встановлюємо плату керування поз.14 з Bluetooth-модулем поз.19. після чого закріпимо на нижній плиті поз.1 гайками поз.11. Закріпимо також два модулі детектора перешкод A6 гвинтами поз.9 та гайками поз.10; ними ж встановимо ІЧ-датчик поз.20. Для подальшого встановлення верхньої плити встановимо гвинтами поз.12 стійки поз.5. Зберемо передню панель поз.3, закріпивши на ній ультразвуковий модуль A7 гвинтами поз.9 та гайками поз.10 і встановимо на нижню плиту. З'єднаємо контакти датчиків та основної плати подвійними дротами поз.25, потрійними – поз.26, 4-дротовим з'єднувачем поз.27 та 5-дротовим з'єднувачем поз.28. Останнім етапом закріпимо верхню платформу поз.2 гвинтами поз.12.

Контролер у складі A8 складається наступним чином: встановлюємо на контролер A5 установчі стійки поз.6 і кріпимо гвинтами поз.9. На контролер встановлюємо плату керування поз.14 з Bluetooth-модулем поз.19. після чого закріпимо на нижній плиті поз.1 гайками поз.11. Закріпимо також два модулі детектора перешкод A6 гвинтами поз.9 та гайками поз.10; ними ж встановимо ІЧ-датчик поз.20. Для подальшого встановлення верхньої плити встановимо гвинтами поз.12 стійки поз.5. Зберемо передню панель поз.3,

закріпивши на ній ультразвуковий модуль А7 гвинтами поз.9 та гайками поз.10 і встановимо на нижню плиту. З'єднаємо контакти датчиків та основної плати подвійними дротами поз.25, потрійними – поз.26, 4-дротовим з'єднувачем поз.27 та 5-дротовим з'єднувачем поз.28. Останнім етапом закріпимо верхню платформу поз.2 гвинтами поз.12.

### *2.3.3. Вибір та обґрунтування обладнання й інструменту*

Обрати обладнання та інструмент при розробці технологічного процесу складання є важливим та відповідальним завданням. При правильно обраному обладнанні можна покращити технічні показники й економічні на практичному виробництві.

Необхідно розумітися в особливостях використання технологічного обладнання у дрібносерійному виробництві та його основних принципах при використанні.

Якісні показники та економічні залежатимуть від правильності вибору інструментів для технологічного процесу. Тобто інструмент повинен конструктивно відповідати розмірам виробу, який складається та його конструкції.

Для того, щоб скласти автоматизовану платформу необхідне таке обладнання:

- Стелаж для зберігання інструментів;
- Стелаж для зберігання деталей та складальних одиниць;
- Стелаж для зберігання змінних верхніх плит (бункерів);

Для складання автоматизованої платформи необхідні такі інструменти:

- Набір гайкових ключів ДСТУ ISO 4229:2015.
- Плоскогубці ДСТУ ISO 5743-88;
- Набір викруток ISO 2380-1: 2004;

### *2.3.4. Розроблення маршрутної та операційної технології складання платформи*

Те, як довго прослужить виріб та його надійність залежить від якості складання. Технологічний процес складання включає в себе розлого

викладену інформацію про операції та порядок їх виконання. Тому розробляється він ґрунтовно на основі технологічної схеми складання. Маршрут складання автоматизованої платформи містить наступні операції:

**005 Комплектувальна**

**010 Підготовча**

**015 Складальна**

**020 Складальна**

**025 Складальна**

**030 Складальна**

**035 Випробування**

**040 Контроль**

Більш детальний процес складання платформи наведено у картах технологічного процесу ДП.ПБ6118.1702.007 (Додаток А).

#### **2.4. Проектування пристосування для випробування платформи**

Важливу роль при проектуванні автоматизованої платформи відіграє її вантажопідйомність. Тож, коли автоматизована платформа навантажена деталями пересувається може відбутися таке явище як проковзування коліс.

Спроекуємо стенд для перевірки. Стенд належить до випробувальної техніки і призначений для дослідження руху автоматично керованих мобільних платформ. Стенд для дослідження руху навантаженого мобільного робота при наявності прослизання коліс складається з платформи, що спирається на чотири стійки, з'єднані з рамою і платформою [12]. Привідні колеса мобільного робота спираються на відповідні кругові платформи, закріплені в своїх центрах на вертикальних осях, встановлених своїми нижніми кінцями в опорних підшипниках, нерухомо з'єднаних з рамою. При цьому під кожною круговою платформою встановлені на вертикальних

стійках, закріплених на рамі, датчики кругових платформ. З валами двигунів постійного струму жорстко пов'язані вали тахогенераторів постійного струму, виходи яких, як і виходи тензодатчиків, встановлених під опорними підшипниками вертикальних осей, з'єднаних з центрами кругових платформ, пов'язані через пристрій вводу-виводу з входами бортового контролера. Всі електричні та електронні елементи бортової системи управління з'єднані з блоком живлення. Відсутня необхідність в наявності великих площ (автодромів) для проведення випробувань. Стенд дозволяє проводити дослідження точності відстеження заданої траєкторії, позиціонування, зміни швидкісного режиму при русі як по криволінійних траєкторіях, так і при прямолінійній русі. Його наведено на кресленнику ПБ6118.1702.008 СК (Додаток А).

**Висновки технологічного розділу.** У технологічній частині розраховано конструкцію платформи на технологічність, визначено геометричну точність складання виробу, розроблено схему ступенів складання, технологічну схему складання, обрано інструменти для складання та внесено у маршрутну карту. Спроектовано стенд для випробування для дослідження руху навантаженої автоматизованої платформи.

## Висновки

В процесі розроблення проєкту було проаналізовано основні групи автоматизованих приладів. Визначено, що у сучасності технології швидко розвиваються і потребують такого ж освоєння. Тож, для проєктування автоматизованої платформи знадобилося обрати датчики та підібрати більш підходящу керуючу плату, розробити її електричну схему.

З урахуванням габаритів датчиків, спроектовано нижню плату, де їх всі можна розмістити без перешкоди роботи один одному. У середовищі розробки 3D-моделей SolidWorks створено змінний бункер для транспортування деталей, попередньо проаналізовано форми комірок для деталей. В подальшому розроблена модель самої складеної платформи. Проведено розрахунок точності виміру датчика. На мові C++ створено програмне забезпечення для управління «сенсорами чуття» автоматизованої платформи. Необхідні деталі надруковано на 3D-принтері та зібрано макет.

Платформу розраховано на технологічність і отримано добрий комплексний показник. Здійснено розрахунок геометричної точності трьома методами, результати яких однакові, отже все пораховано вірно.

У процесі роботи над технологічною схемою складання автоматизованої платформи визначено, яке обладнання та інструменти потрібні та відображено у маршрутній та операційній картах. Побудовано схему ступенів складання. Спроектовано стенд для випробування платформи.

В подальшому, макет платформи можна використовувати в навчальних цілях, для демонстрації роботи, аналізу роботи систем.

Даний проєкт автоматизованої платформи може отримати подальший розвиток шляхом додавання датчиків та програмування. Наприклад, виконати математичні дослідження спрямовані на самонавчання робота з використанням нейронних мереж і відповідно розроблених моделей написати програмний код.

## Список використаних джерел

1. С.В. Павлюченко, А.Н. Попов, Н.Е. Пуленец, Ал.Н. Тимофеев Схемы технологических машин. правила выполнения и синтез кинематических, пневматических, гидравлических и электрических схем. Учебное пособие. СПб.: Издательство политехнического университета, 2013.
2. Основи мікропроцесорної техніки: лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка» / В.С.Баран, Г.Г.Власюк, Ю.О.Оникієнко, О.І.Смоленська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,42 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. –140 с.
3. О.В. Третьак «Датчики відстані та їх використання в робототехніці», XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», Київ, 2020, с. 132-135
4. Третьак О.В., Стельмах Н.В. «Забезпечення переміщення роботизованої платформи на виробництві», Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 2, 29 - 30 квітня 2020 р., Чернігів – с.208-209
5. Карпов В.Э. Мобильные минироботы. Ч.1. Знакомство с автоматикой и электроникой: метод. материалы по проведению занятий со школьниками / Политехн.музей. –М., 2009. – 48 с.
6. О.В. Третьак «Вибір та обґрунтування приводу для автоматизованої платформи», XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», Київ, 2020, с. 128-131
7. Попов Е., Письменный Г. Основы робототехники. Введение в специальность: Учебник для вузов. – М.: Высшая шк. – 1999. – 224 с
8. Джереми Блум Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства, Санкт-Петербург: Wiley, 2015 – с. 337

9. Некоторые подходы к организации содержательного поиска изображений и видеоинформации // Под ред. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Россия, Москва. 2002
10. Стельмах Н., Сапон С., Рижук Я. Вибір оптимального технологічного процесу на базі автоматизованої оцінки його техніко-економічних параметрів. Технічні науки та технології. 2020. No 1 (19). С. 89-97. DOI:10.25140/2411-5363-2020-1(19)-89-97.
11. Румбешта, В. О. Технологія складання, регулювання та випробування приладів : підручник / В. О. Румбешта; НТУУ «КПІ». — Київ : НТУУ «КПІ», 2014. — 364 с.
12. Антонюк В.С., Белова А.В., Петренко С.Ф. Підвищення точності позиціювання лінійних направляючих мікроманіпуляційних систем з п'єзоелектричним двигуном // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – Вип.2 (17)- С. 12 - 20.
13. Asymptotic Stability and Feedback Stabilization. In Differential Geometric Control Theory / Brockett R. W. / Edited by R. W. Brockett, R. S. Milman, and H. J. Sussman. – USA: Birkhduser Boston, Inc., 2008. – 181-191.
14. Антонюк В.С. Методологія наукових досліджень: навч. посіб./ В.С. Антонюк, Л.Г. Полонський, В.І. Аверченков, Ю.А. Малахов. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 276 с.



# Додатки

# Додаток А

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан приладобудівного факультету

Тригорій ТИМЧИК

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.



**АКТ**

**про використання результатів дипломного проєкту  
студента гр. ПБ-61 Третяк Олени Вячеславівни  
виконаного на тему: «Автоматизована платформа для транспортування  
малогабаритних виробів»**

Комісія у складі:

**голова комісії**

заст. декана з навч.-метод. роботи

к.т.н., доцент Філіппова М. В.

**члени комісії**

д.т.н., професор Антонюк В.С.

к.т.н., доцент Барандич К.С.

цим актом засвідчує те, що результати розробок, внесені у дипломний проєкт Третяк Олени Вячеславівни, використовуються викладачами кафедри виробництва приладів приладобудівного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського для вдосконалення лабораторних робіт навчальної дисципліни «Робототехніка» освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів».

У ході виконання дипломного проєкту отримано наступні результати:

- 1) Розроблено конструкцію автоматизованої платформи для транспортування малогабаритних виробів
- 2) створено робочий прототип автоматизованої платформи для транспортування малогабаритних виробів

Голова комісії

Марина ФІЛІПОВА

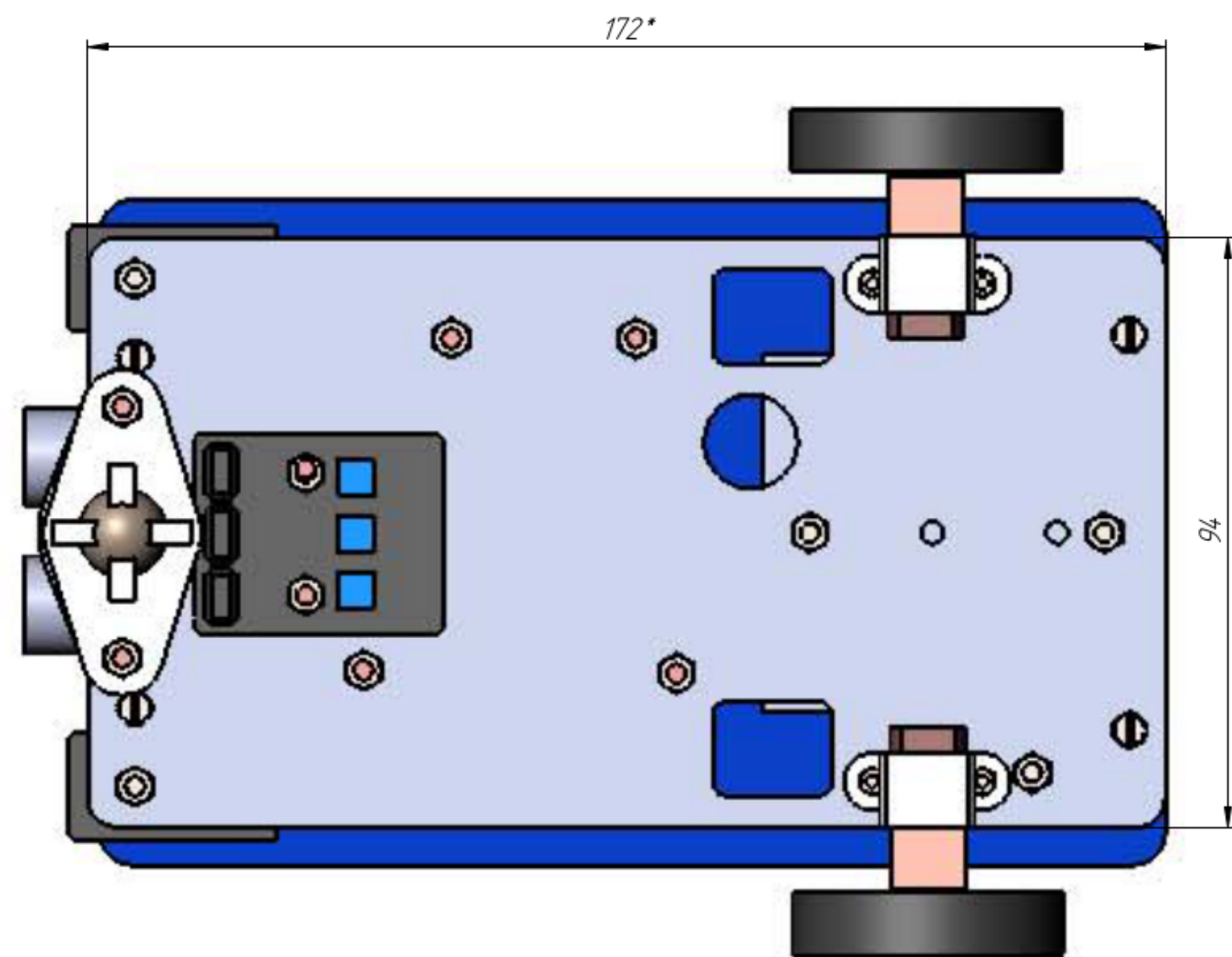
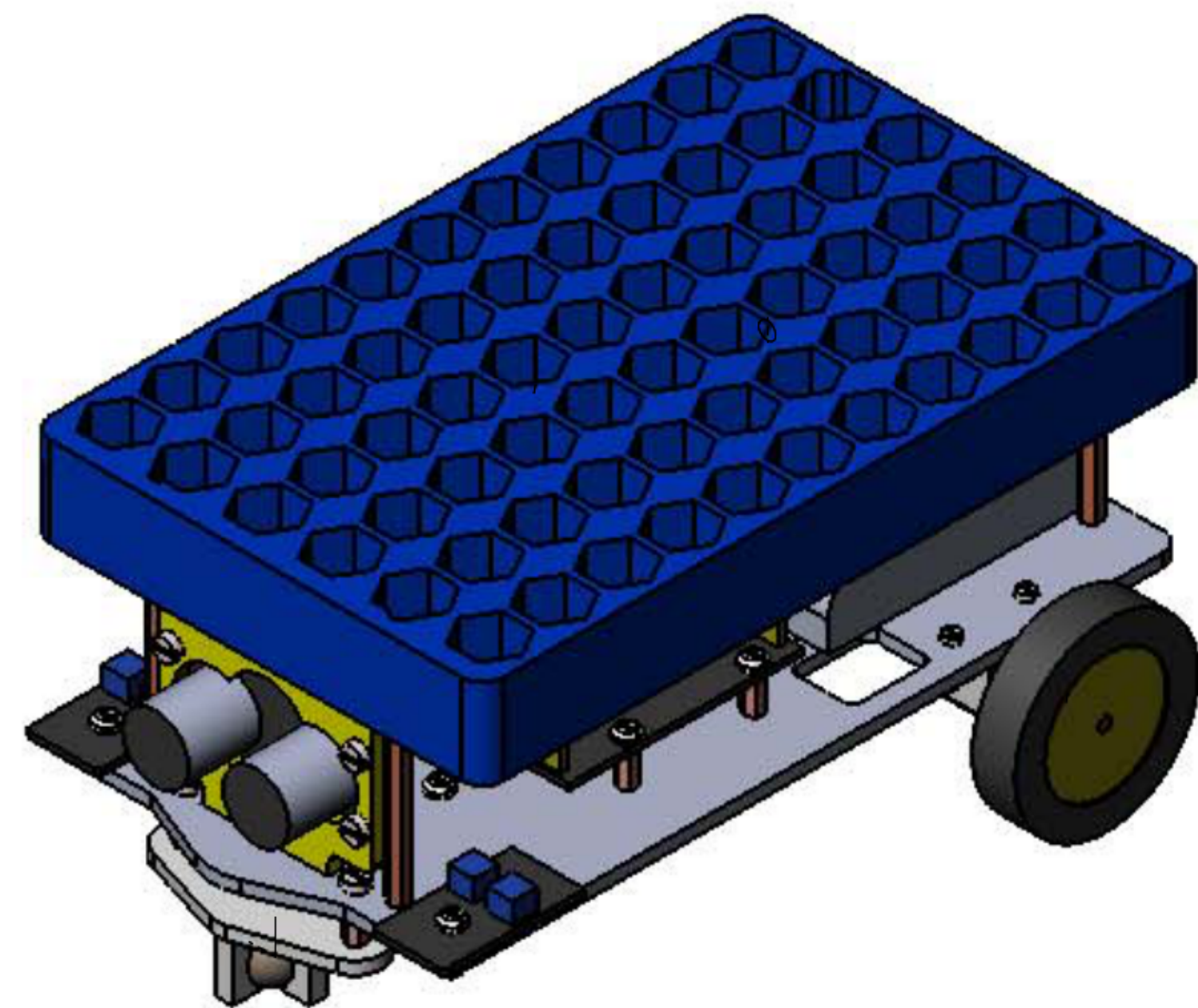
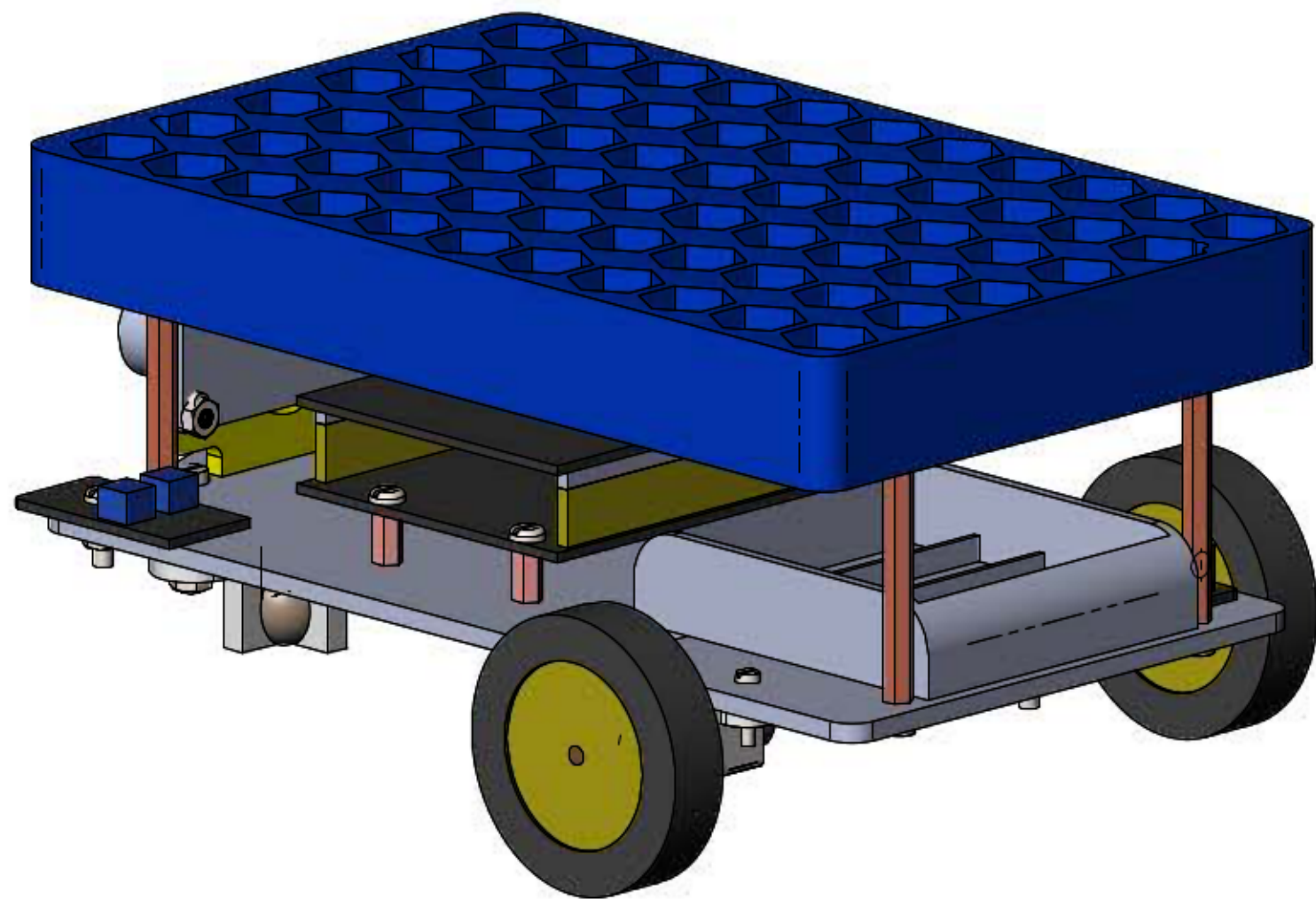
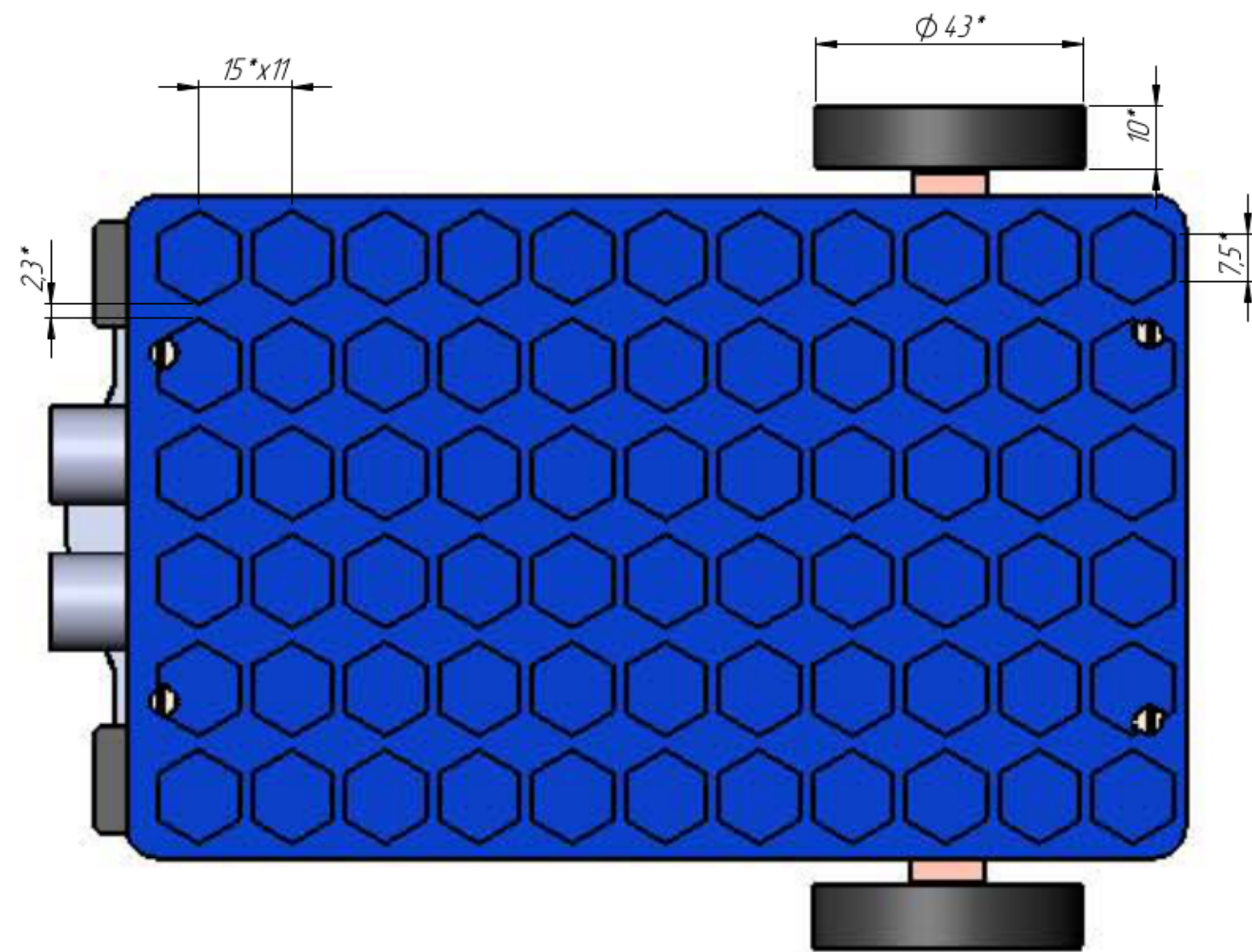
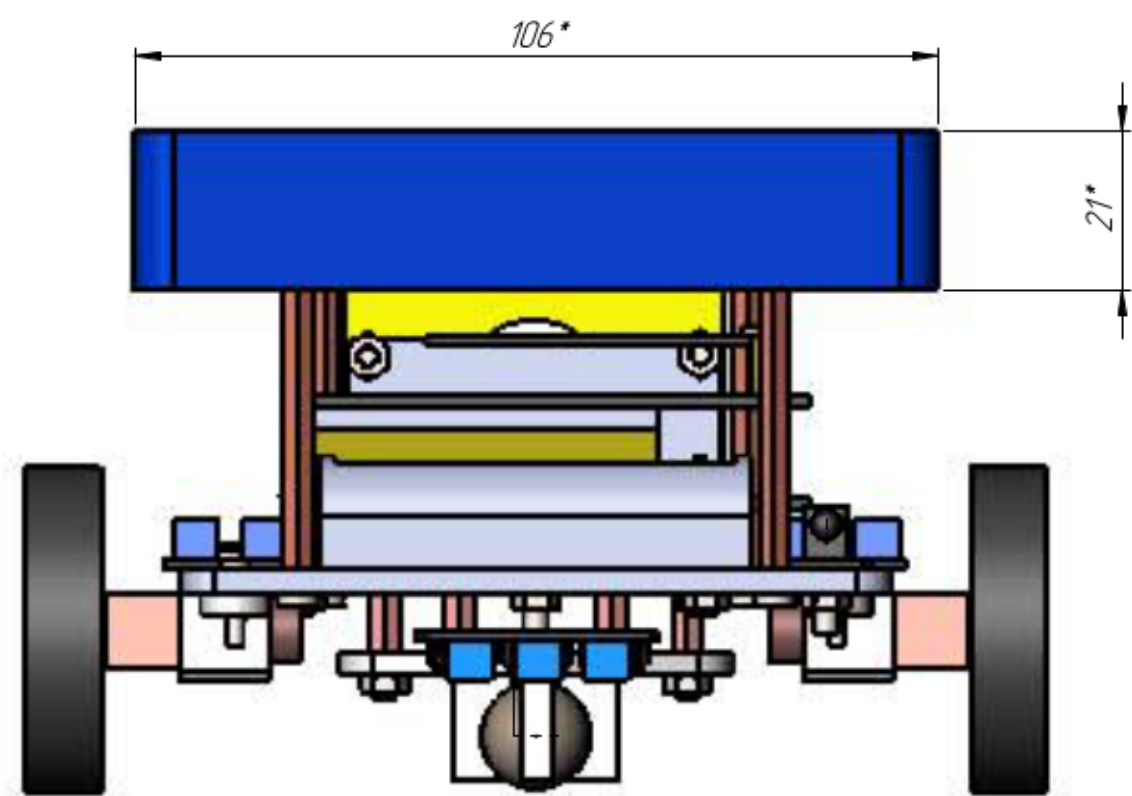
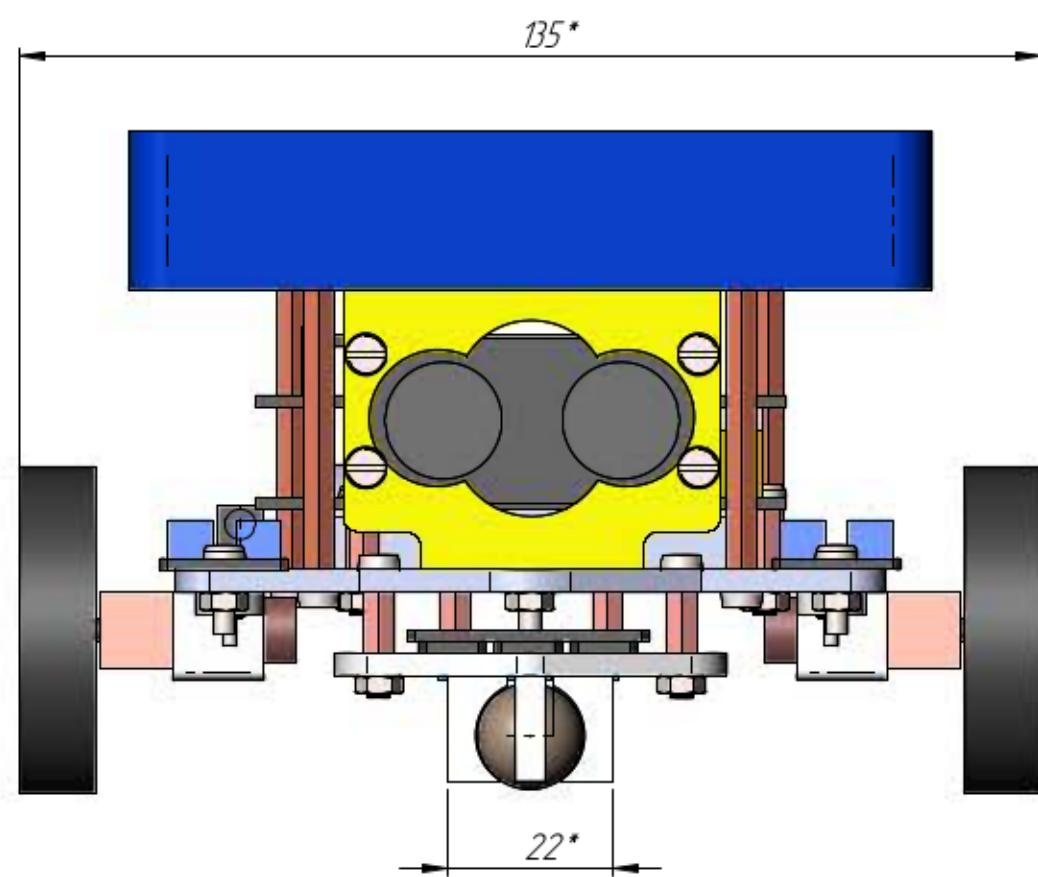
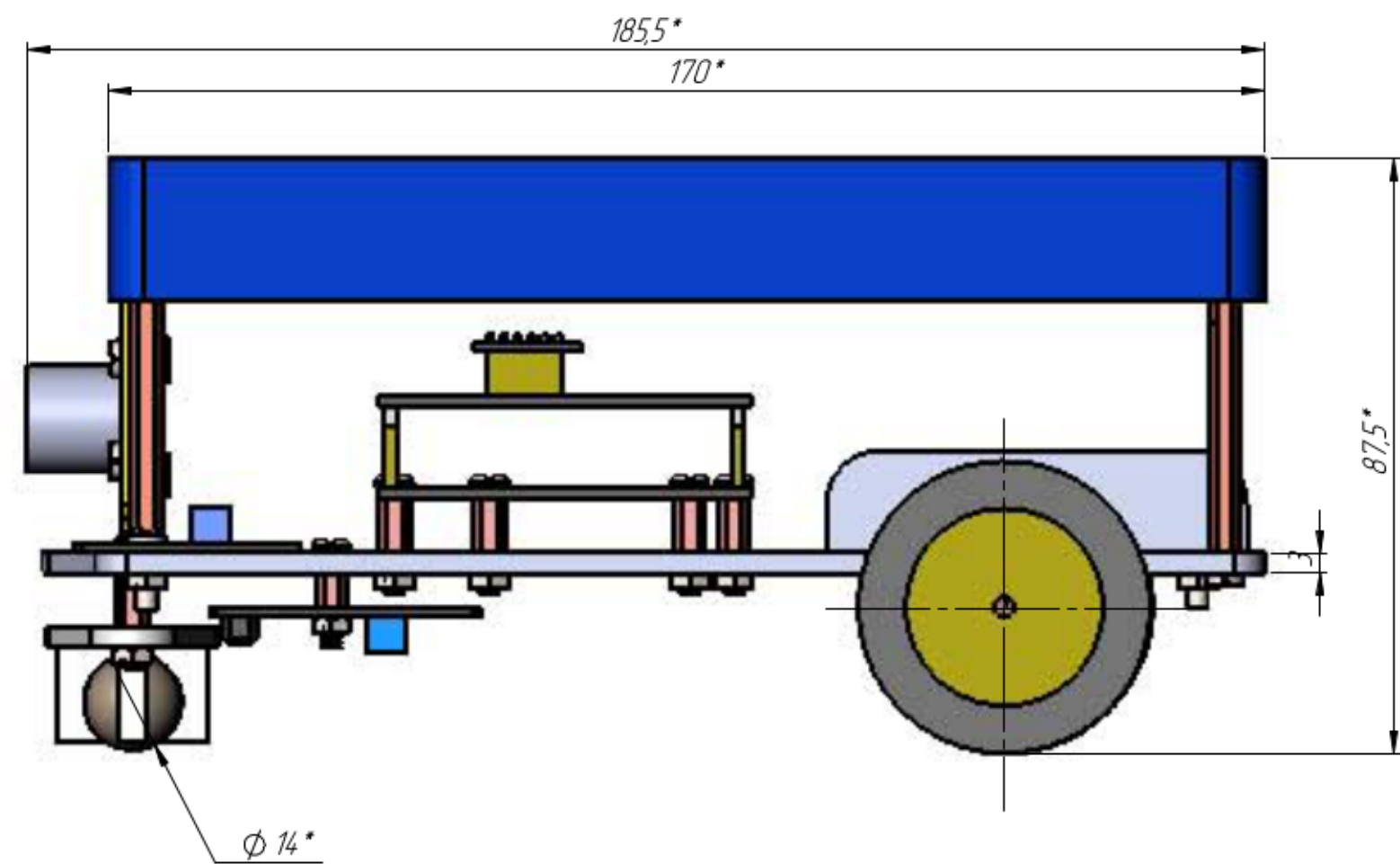
Члени комісії

Віктор АНТОНЮК

Катерина БАРАНДИЧ

# Додаток Б





				ДП.ПБ6118.1702.001		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Автоматизована платформа Загальний вигляд	
Разраб.	Третак ДВ	Степняк НВ	С.М.Мазур			
Проб.						
Т. контр.						
Н. контр.					4 курс, ПБФ	
Утв.						
				Лит.	Масса	Масштаб
				Лист 1	Листов 1	11

ДП.ПБ6118.1702.001

Автоматизована платформа  
Загальний вигляд

Лит. Масса Масштаб

Лист 1 Листов 1

4 курс, ПБФ

1 Копировал

Формат А1





Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №					Документація		
	A1			ДП.ПБ6118.1702.002 СК	Автоматизована платформа	1	
					Деталі		
	A3	1	ДП.ПБ6118.1702.001.01	Нижня плита	1		
	A2	2	ДП.ПБ6118.1702.001.02	Верхня плита	1		
	A4	3	ДП.ПБ6118.1702.001.03	Передня панель	1		
		4		Установча стійка МЗх5+6	2		
		5		Стійка МЗх40	4		
		6		Установча стійка МЗх8+6	6		
Подп. и дата					Стандартні вироби		
		7		Гвинт МЗх8	2		
				ДСТУ ISO 7380:2:2018			
		8		Гвинт М2х10	4		
				ДСТУ ISO 7380:2:2018			
		9		Гвинт МЗх10	7		
				ДСТУ ISO 7380:2:2018			
		10		Гайка МЗ	17		
				ДСТУ ГОСТ 5915:2008			
		11		Гайка М2	4		
				ДСТУ ГОСТ 5915:2008			
Взам. инв. №					Гвинт МЗх6	8	
					ДСТУ ISO 7380:2:2018		
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм. Лист							
Разраб.							
Пров.							
Н.контр.							
Утв.							

ДП.ПБ6118.1702.002 СП

Изм. Лист

№ докум.

Подп.

Дата

Разраб.

Пров.

Н.контр.

Утв.

Третьяк О.В.

Стельмах Н.В.

Стельмах Н.В.

Автоматизована платформа.

Специфікація

Лит.

Лист

Листов

1

2

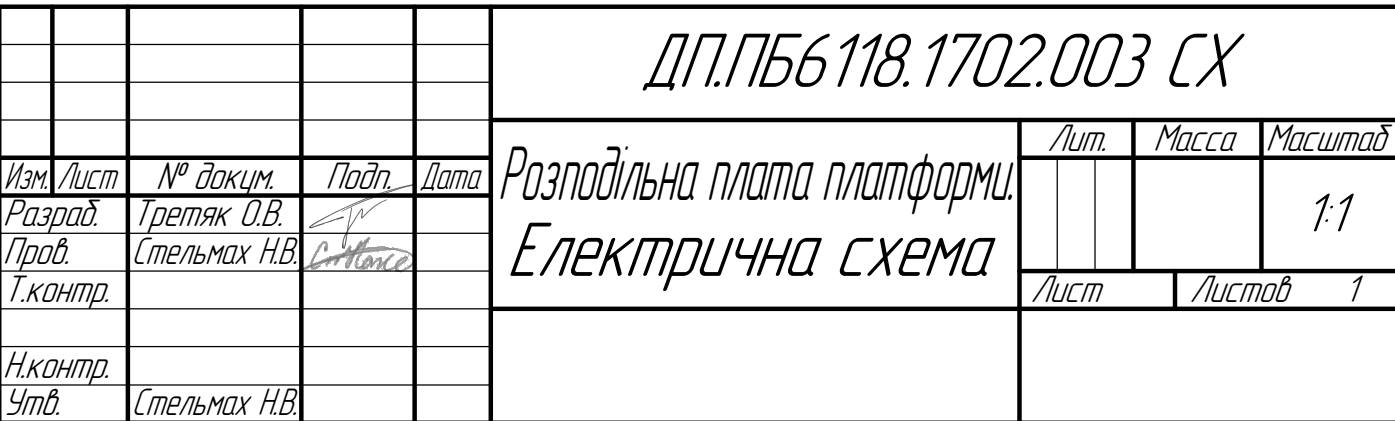
ПБФ, 4 курс

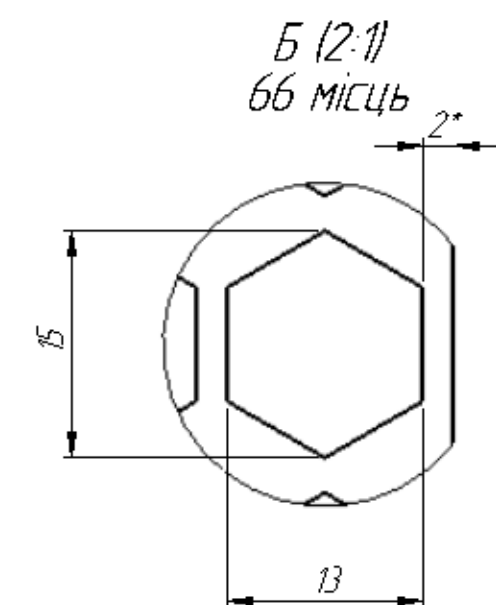
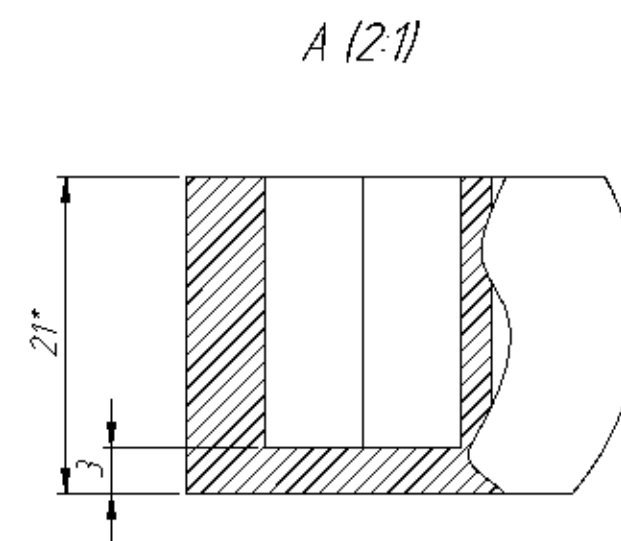
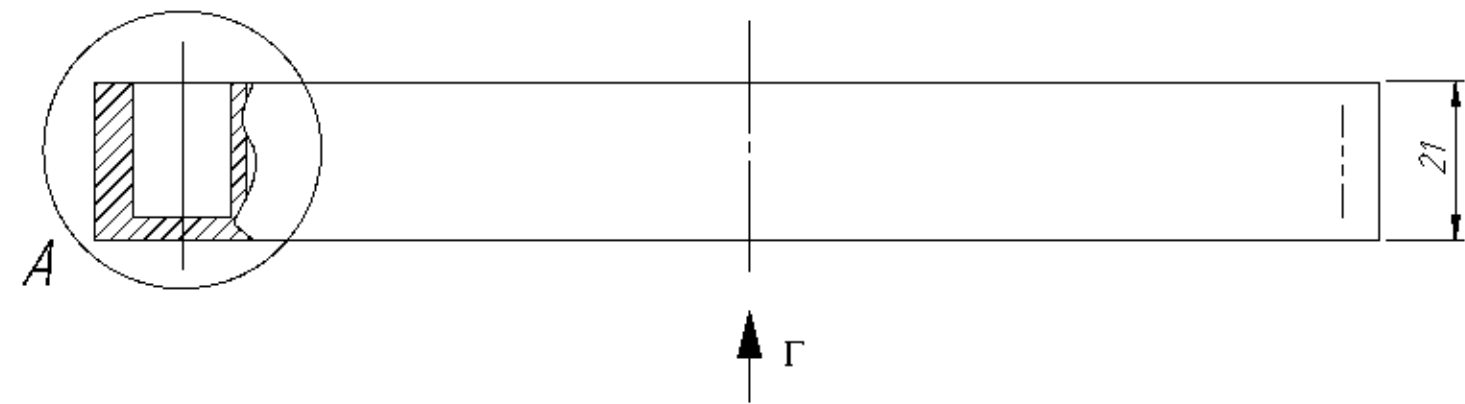
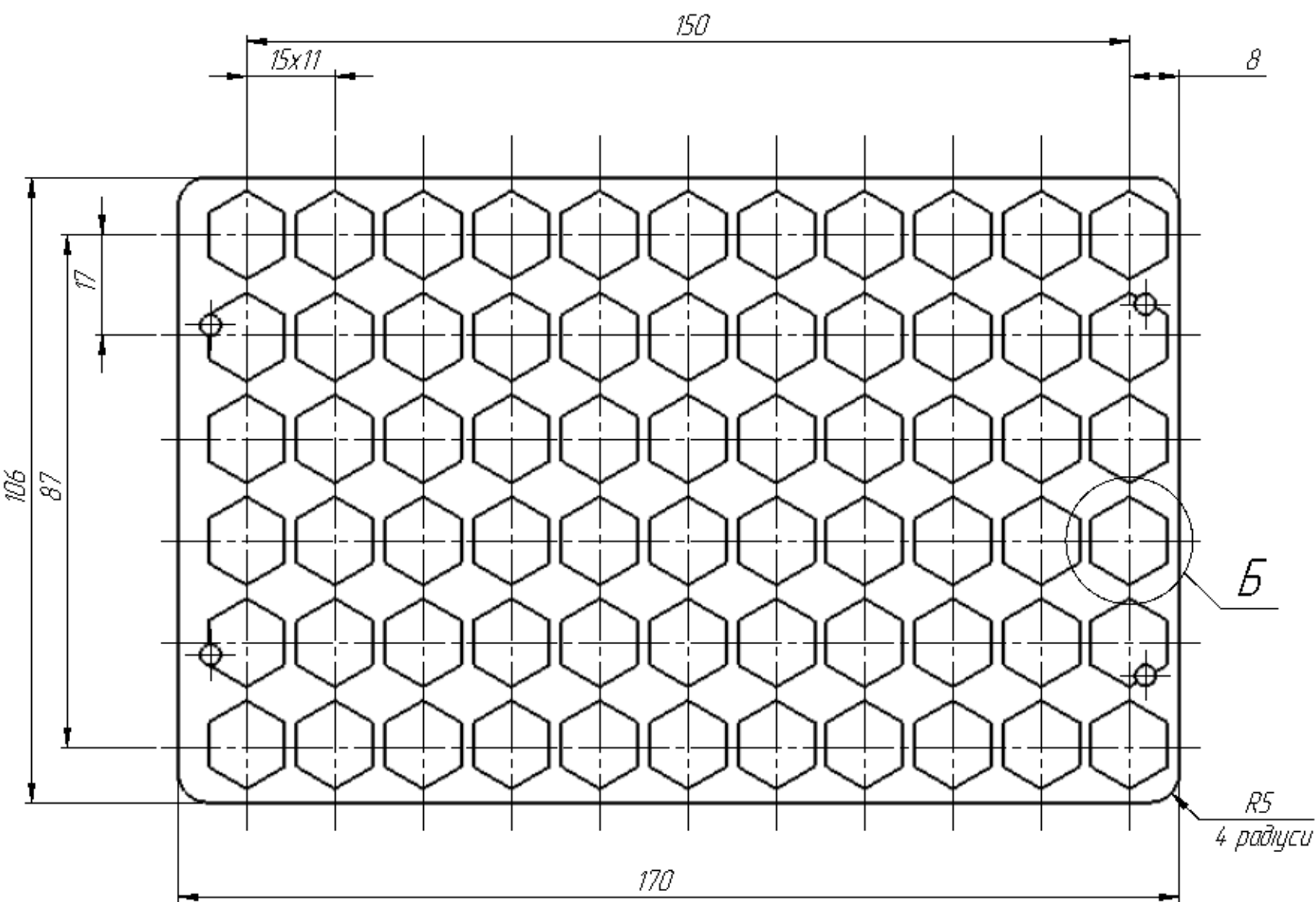
Копировал

Формат А4

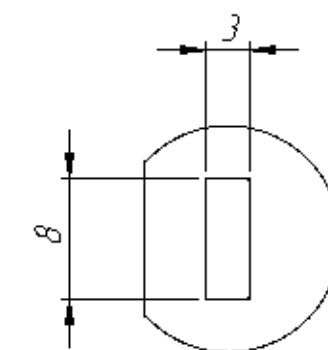




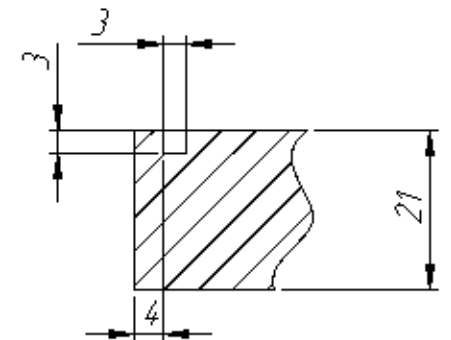




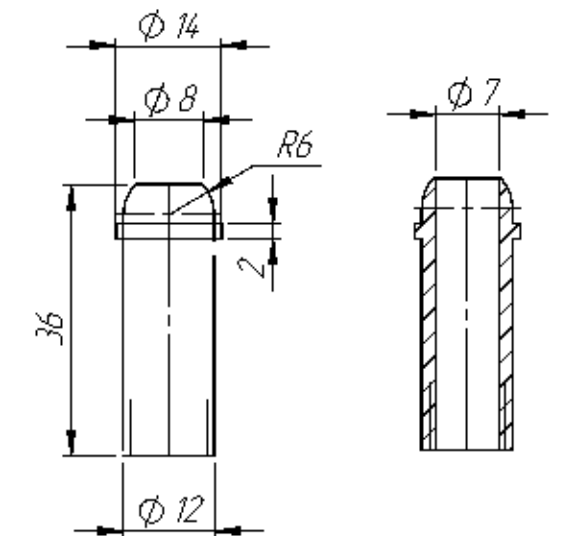
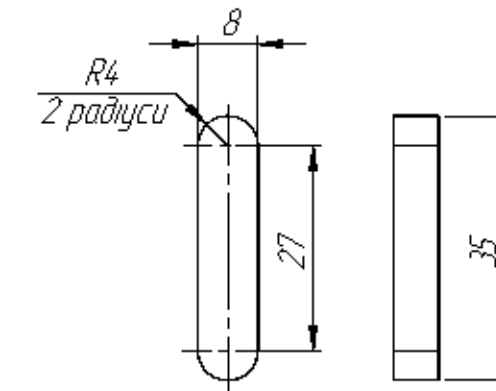
В (2:1)



Д-Д (1:1)



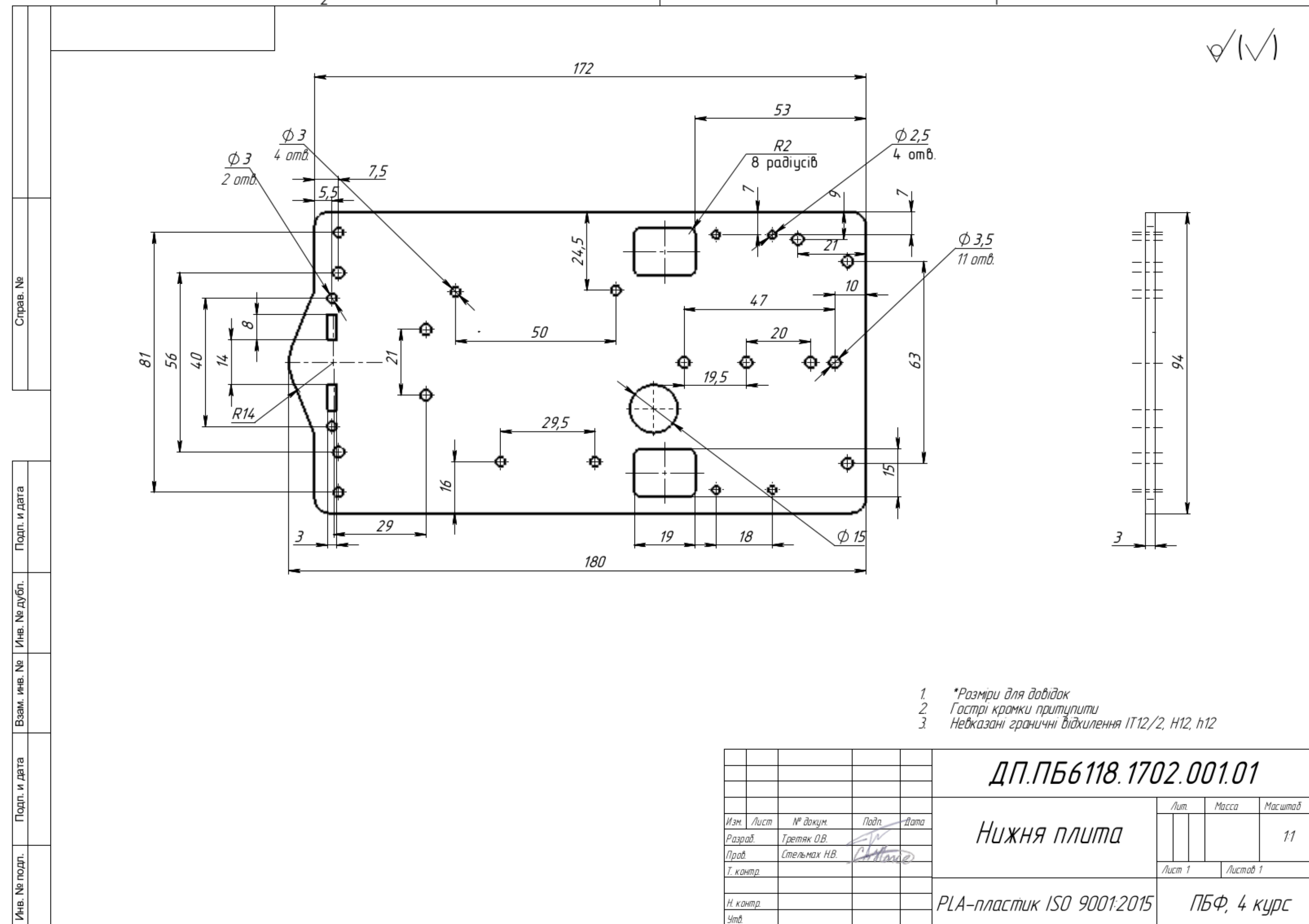
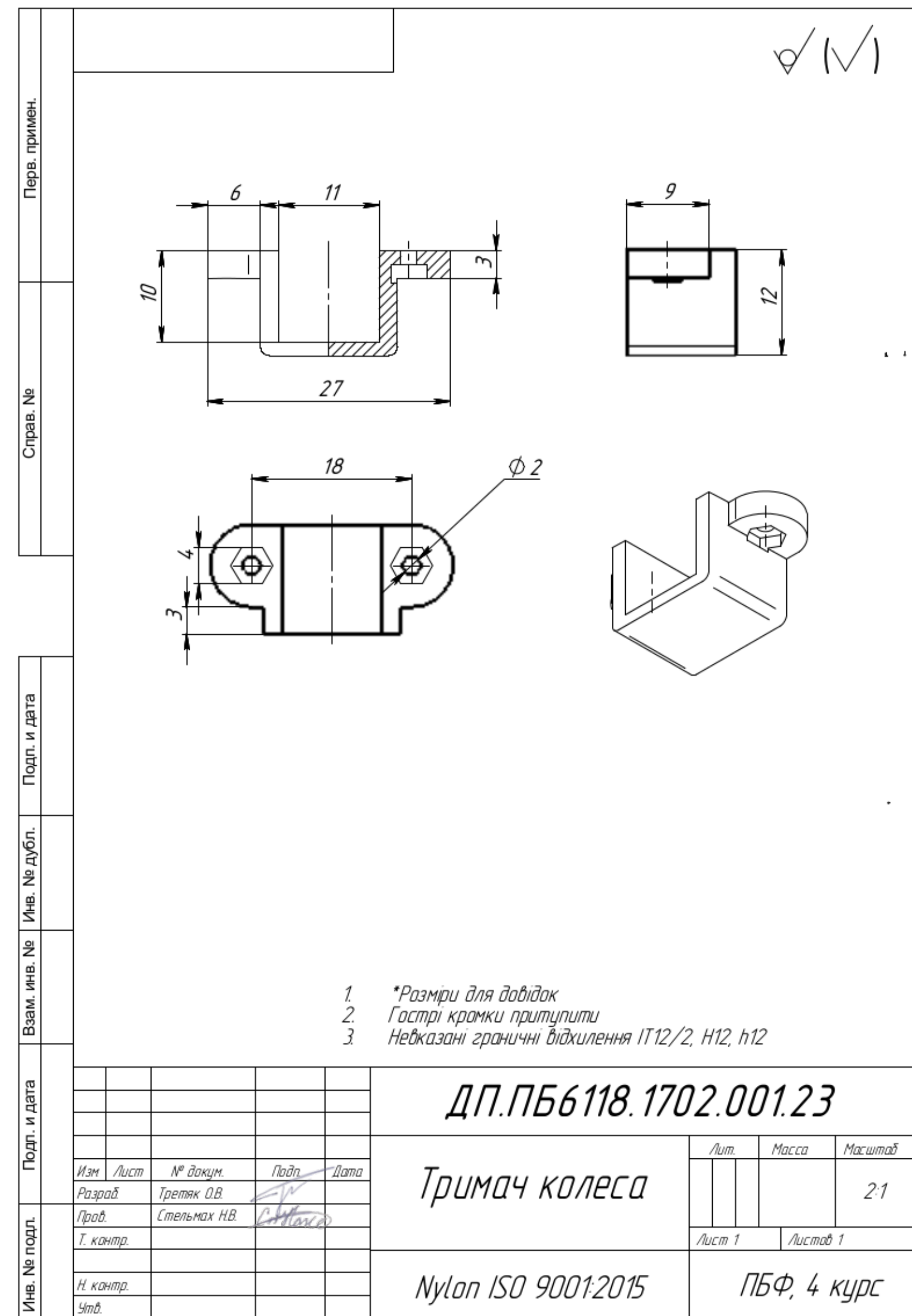
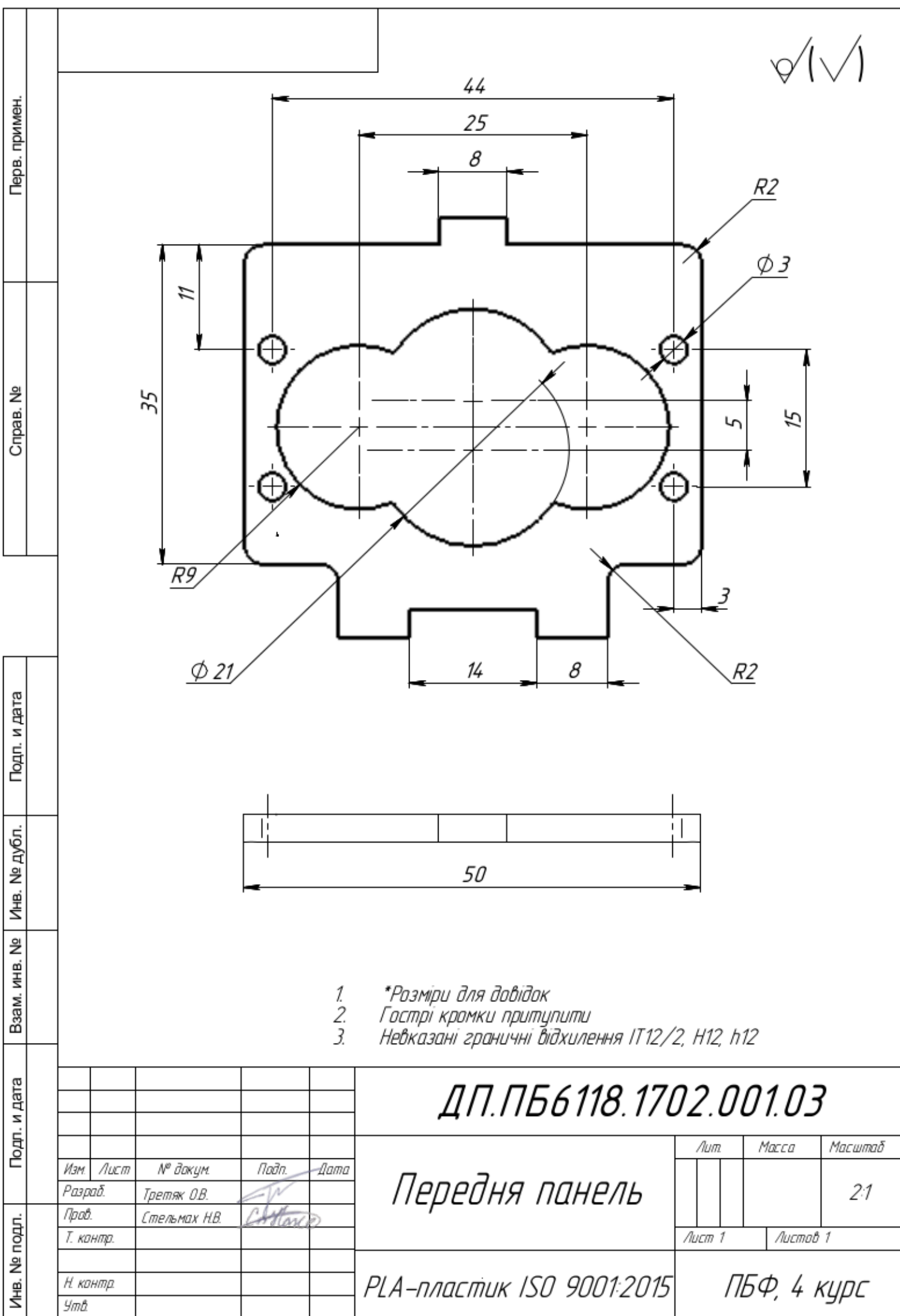
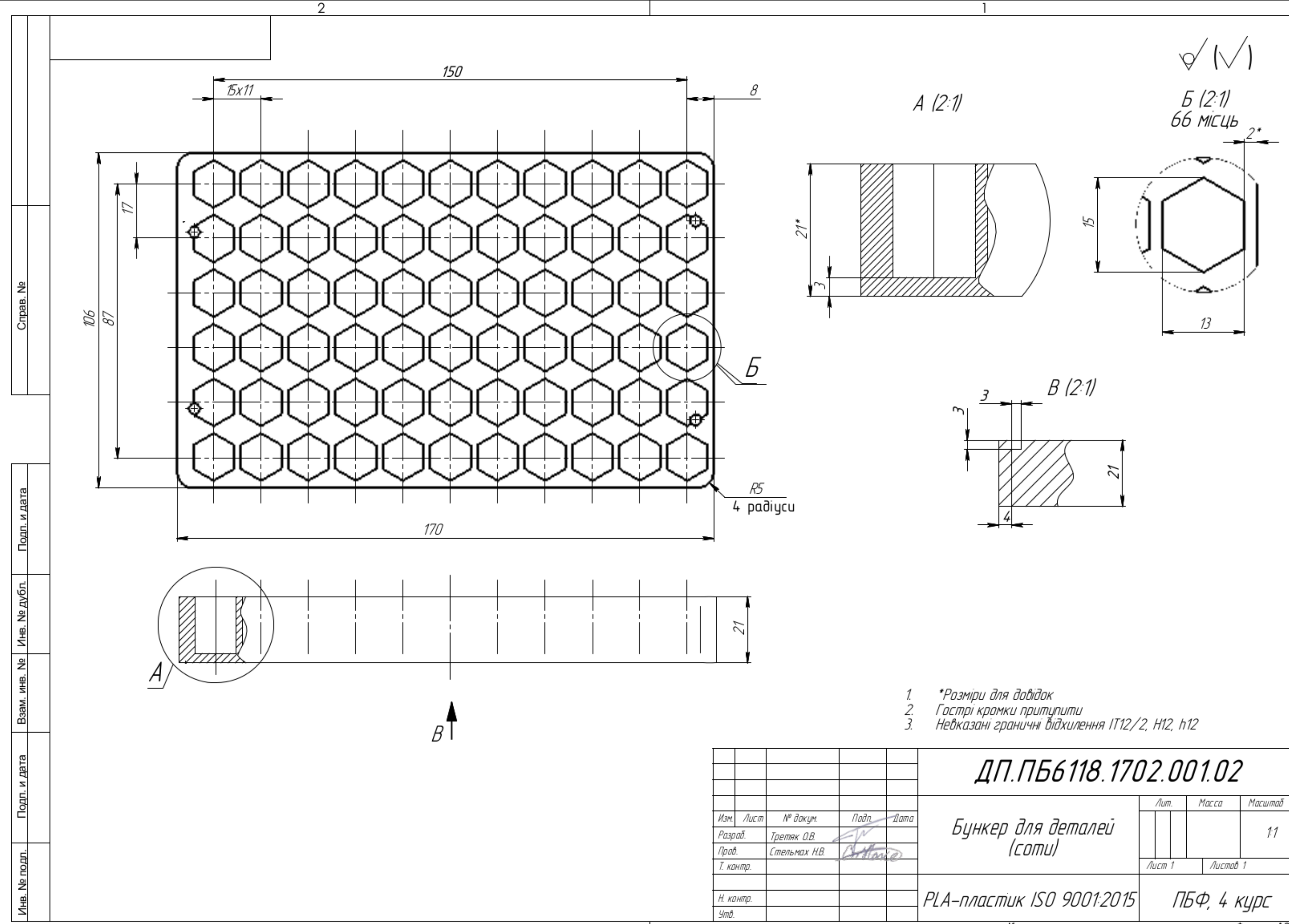
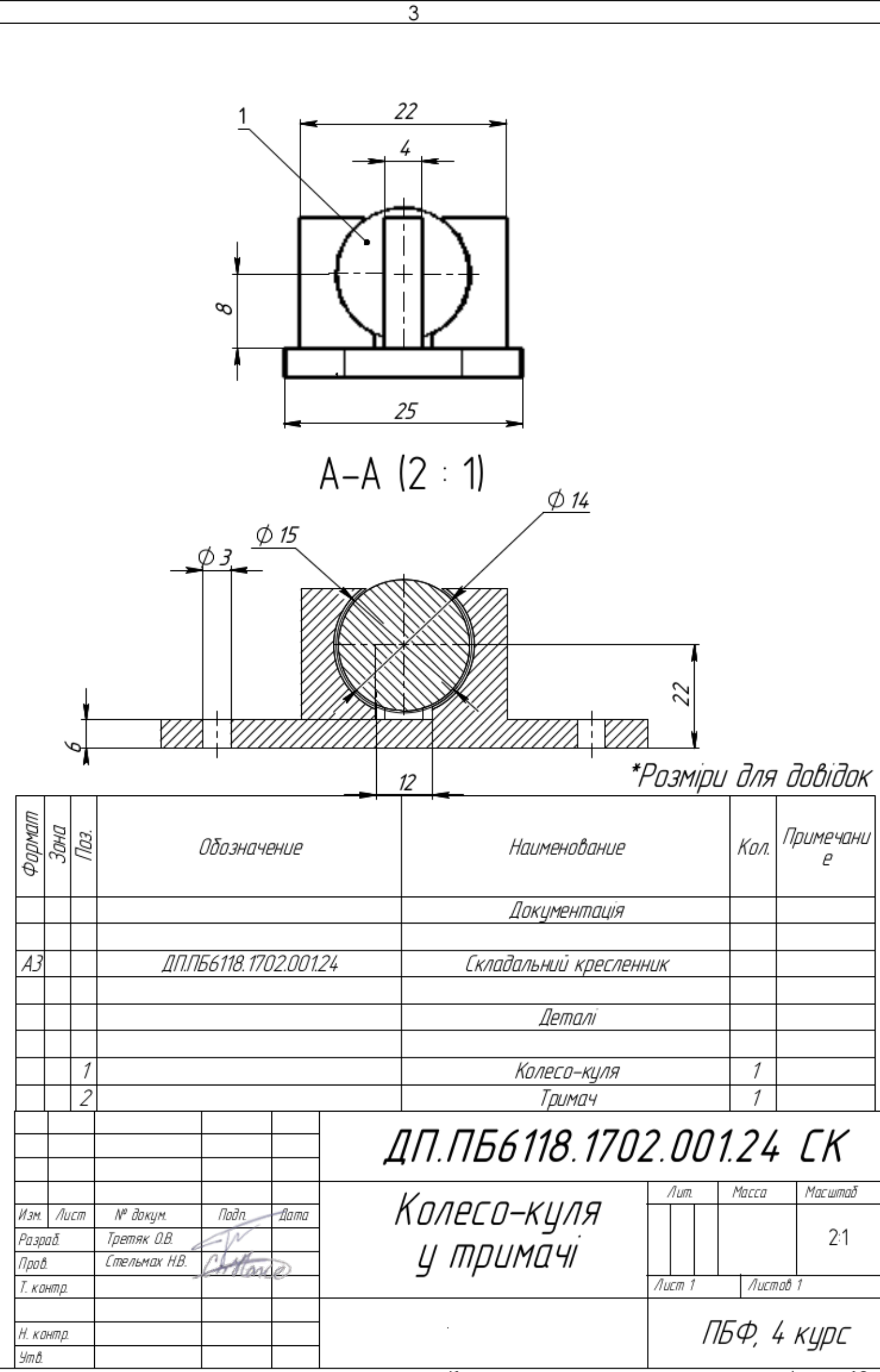
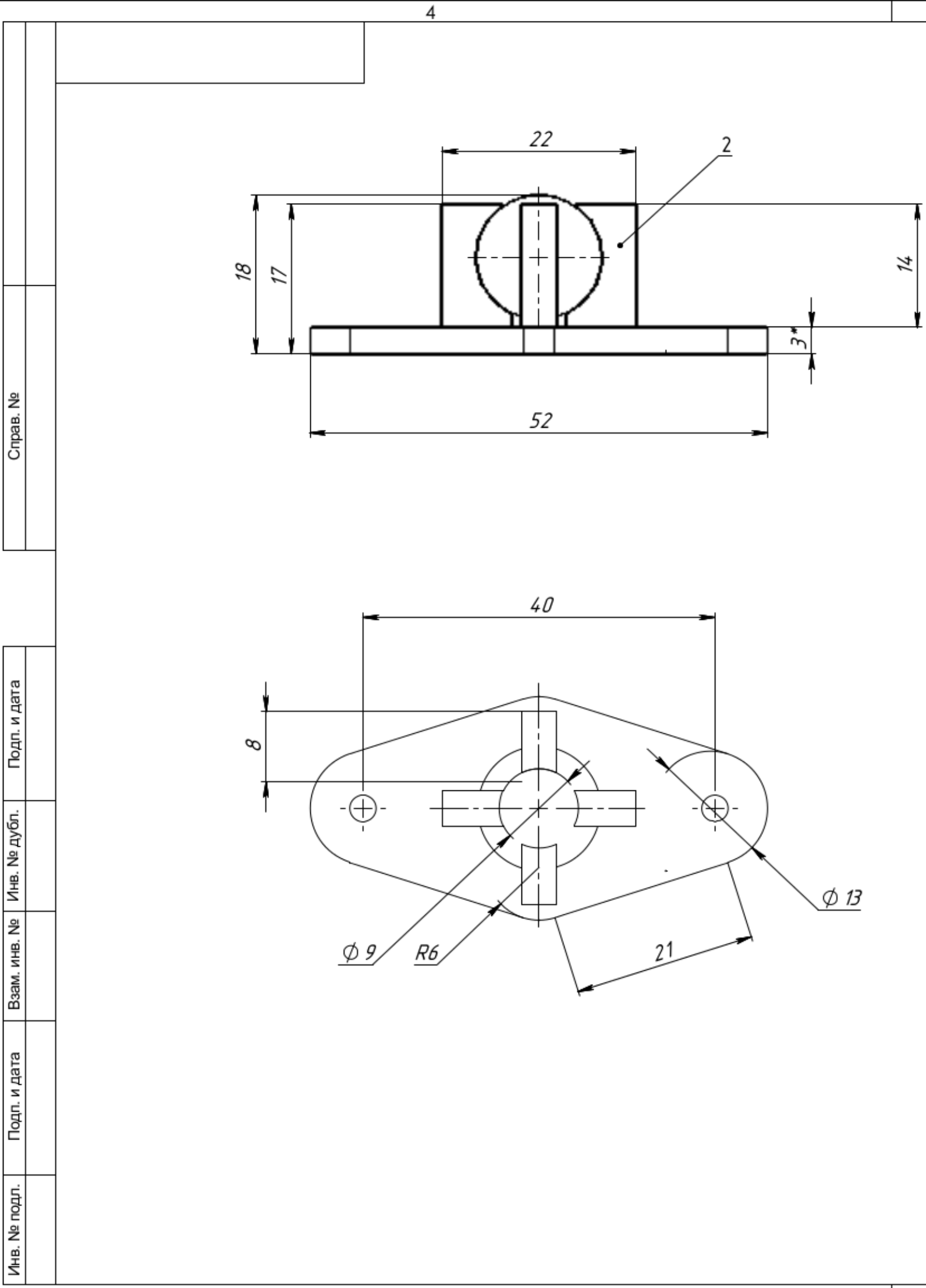
Приклади деталей, що будуть у комірках

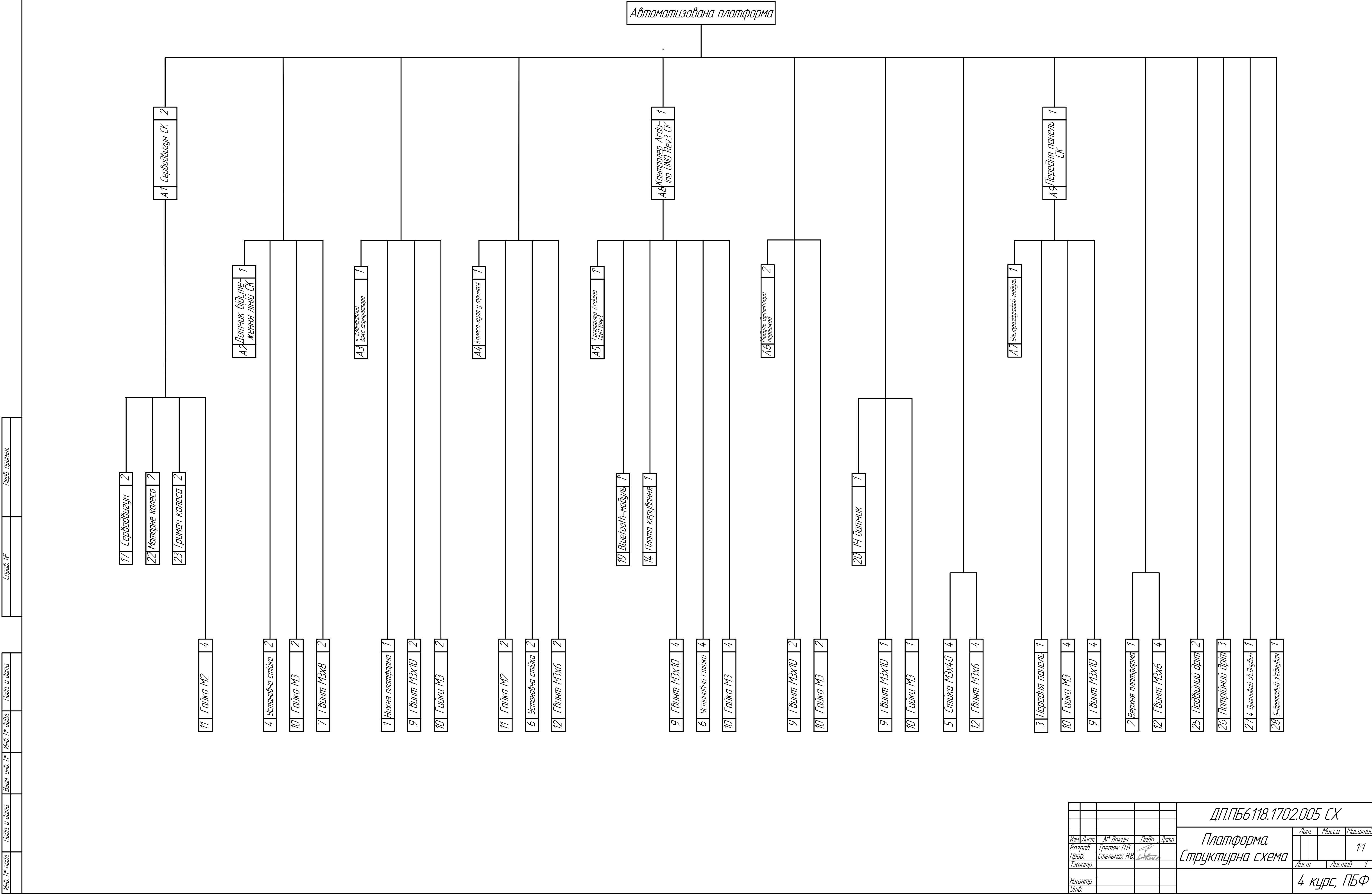


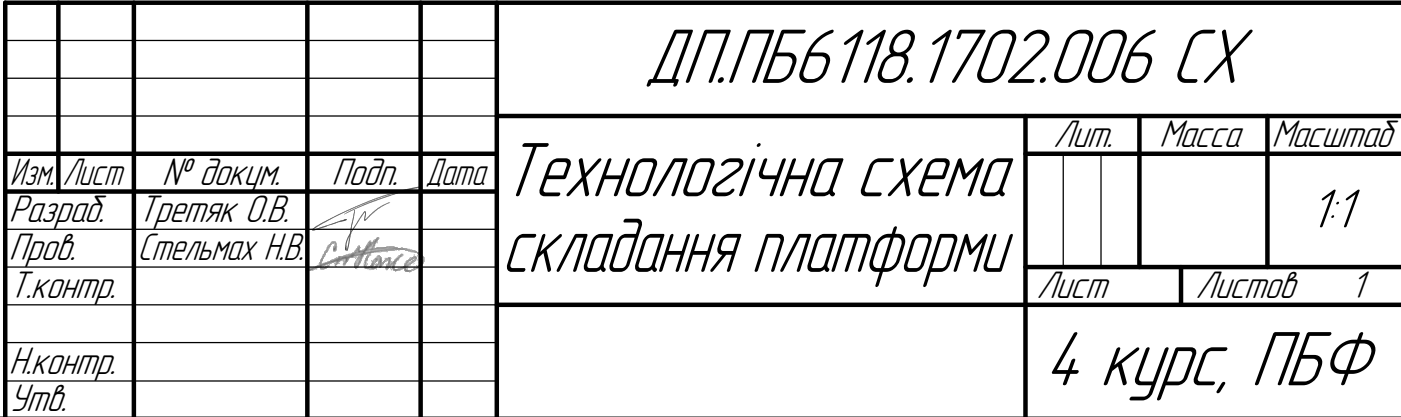
- 1 \*Разміри для довідок
- 2 Гострі краї притупити
- 3 Неказані граничні відхилення IT14/2

ДП.ПБ6118.1702.00102				Бункер для деталей (соту)		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса
Разраб.	Третьяк О.В.	Степеляк Н.В.	Степеляк Н.В.	Степеляк Н.В.	Лист 1	Листов 1
Г. контр.						
Н. контр.						
Узд.						
PLA-пластик ISO 9001:2015				ПБФ, 4 курс		
Копировал				Формат А2		

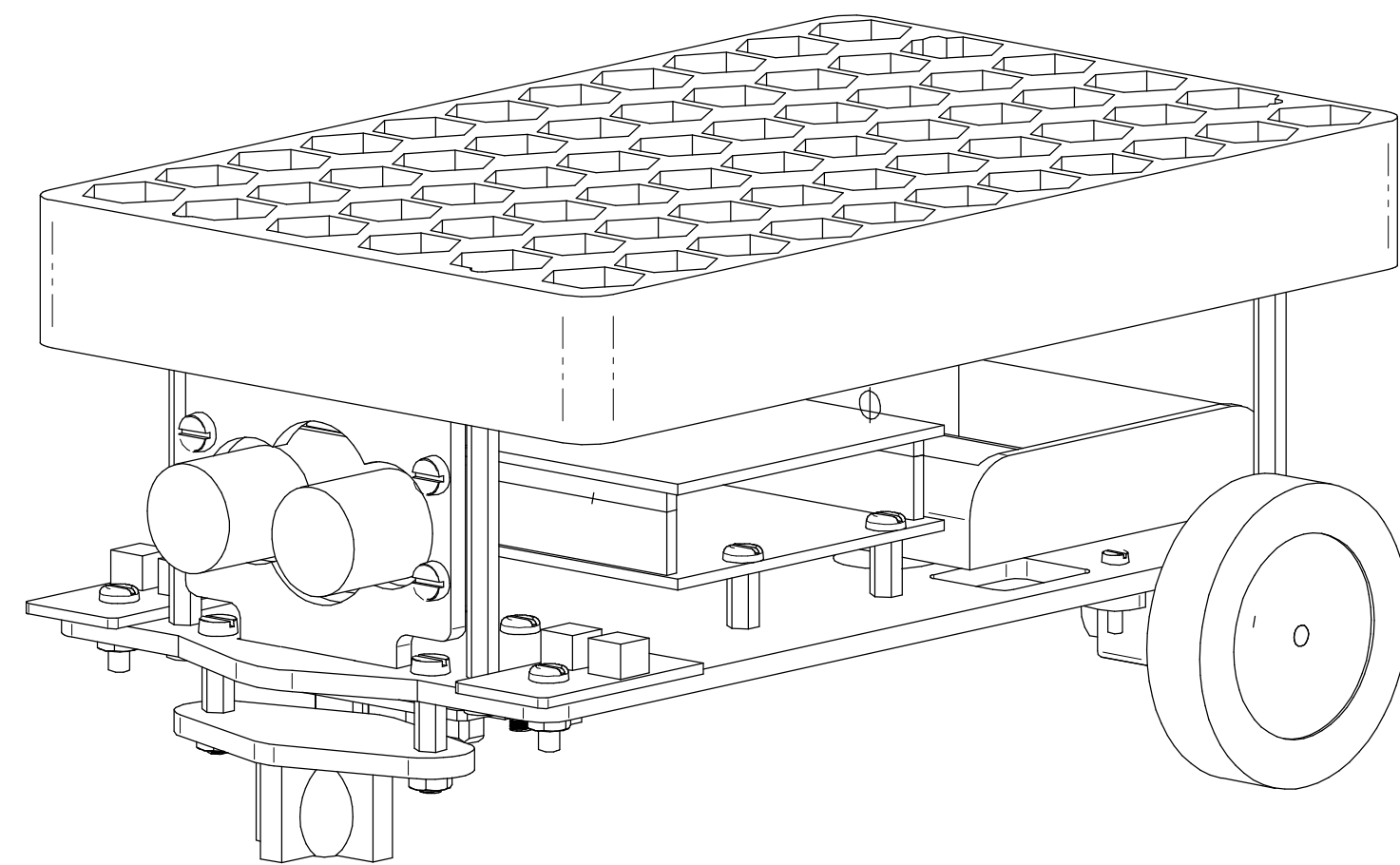
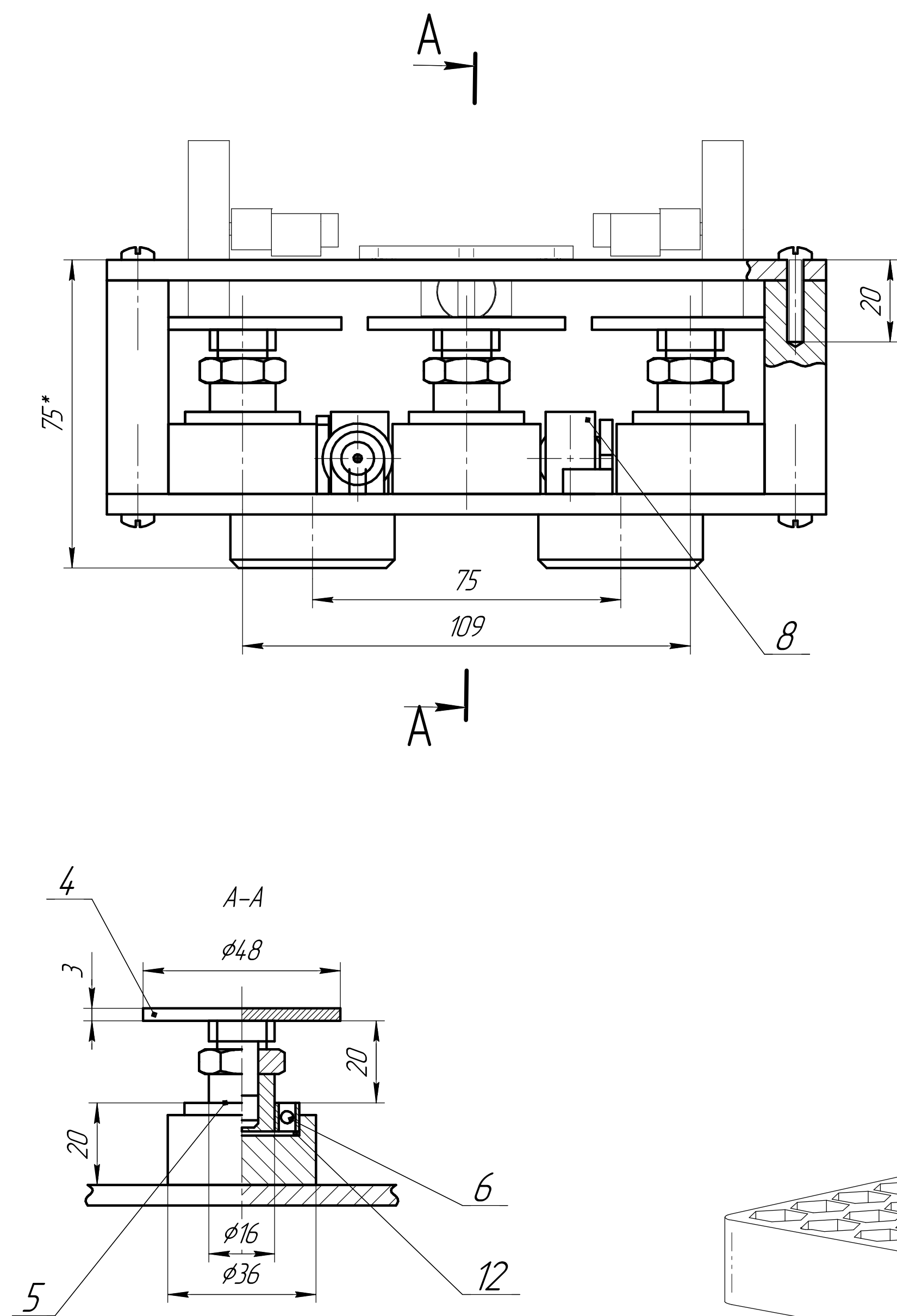
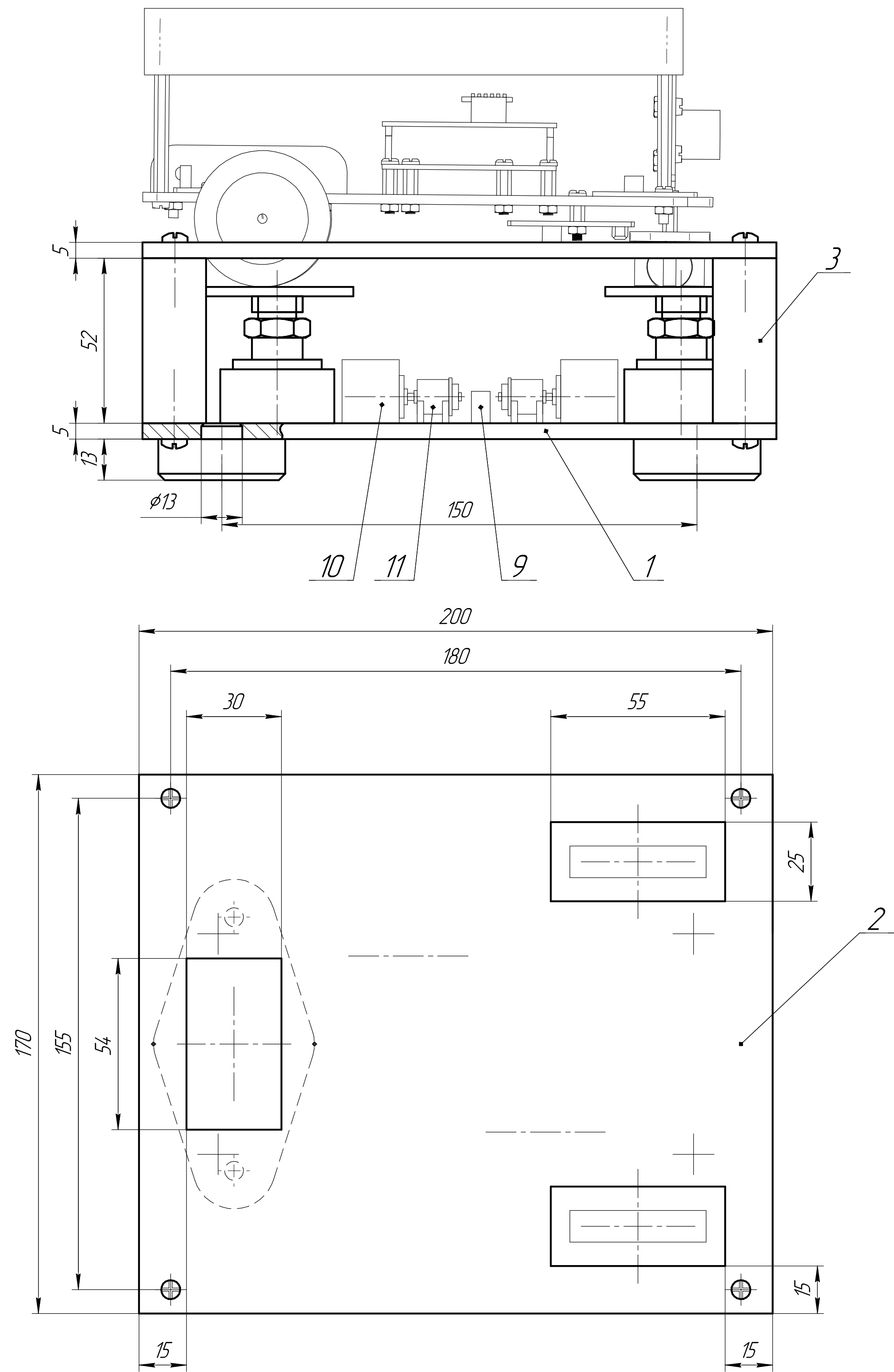












1. \*Разміри для довідок  
2. Періодичність ремонту за потреби  
3. Перевірка технічного стану кожні 4 місяці

					ДП.ПБ6118.1702.008 СК						
					Стенд для випробування		Лист		Масса	Масштаб	
										1:1	
Изм./Лист	№ док.		Подп.	Дата			Лист		Листов		1
Разраб.	Третьак О.В.										
Проб.	Степеляк Н.В.										
Т.контр.											
Н.контр.											
Утв.											

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №	A1			ДП.ПБ6118.1702.008 СК	Стенд для випробування	1	
					Деталі		
			1		Основа	1	
			2		Стійки	4	
			3		Рама	1	
			4		Кругові платформи	3	
					Стандартні вироби		
			5		Вертикальна вісь	3	
					ДСТУ ISO 230-2:2019		
			6		Опорні підшипники	3	
					ДСТУ ГОСТ 520:2014		
			7		Гвинт М4х20	8	
Подп. и дата					ДСТУ ISO 7380:2:2018		
					Покупні деталі		
			8		Двигун постійного струму	1	
			9		Бортовий контролер	1	
			10		Тахогенератор	1	
			11		Редуктор	1	
			12		Тензодатчик	3	
	Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ДП.ПБ6118.1702.008 СП
Разраб.		Третьяк О.В.				Стенд для випробування.	
Пров.		Стельмах Н.В.					
Н.контр.						Лит. Лист Листов	
Утв.							
Специфікація						ПБФ, 4 курс	

Копировал

Формат А4

# Додаток В

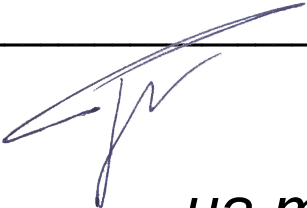


Дубл.			
Взам.			
Подл.			

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
			Листов	Лист

Погоджено  
Третьак О.В.

\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_



Затвердив  
Стельмах Н.В.

\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_



КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ  
на технологічний процес складання

ТЛ

Титульний лист

Дубл.			
-------	--	--	--

--	--	--	--	--

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

[illegible]

																				Листов	Лист			
Разраб.																								
Проверил																								
Утвердил																								
Согласовал																								
Н.контр.																								
										Платформа														
M01																								
M02	Код		ЕВ	МД	ЕН	Н.расх.	КИМ	Код загот.		Профиль и размеры			КД	МЗ										
A	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код,наименование операции					Обозначение документа														
Б	Код,наименование,оборудования							СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тпз	Тшт.						
A03	025 Складальна																							
B04	Стіл для складання																							
05																								
A06																								
B07	030 Складальна																							
08	Стіл для складання																							
09																								
10																								
11	035 Випробування																							
12	Стіл для випробування																							
13																								
14																								
15	040 Контроль																							
16	Пристосування для контролю																							
МК Маршрутная карта																		2						

[illegible]

Дубл.																				
Взам.																				
Подл.																				
Разраб.																				
Проверил																				
Утвердил																				
Н.контр.																				
A 01	Код, наименование операции						Обозначение документа								МИ					
	010 Підготовча																			
B 02							Код, наименование оборудования							Тв	То					
K/M	Наименование детали, сб. единицы или материала						Код, обозначение			ОПП	ЕВ	ЕН	КИ		Н.расх.					
P	ПС	V	t c., min	T-PA, oC	T-PA Ж, oC		ПЛ.	Q Г	HM	T H, C		T OX, C								
O 03	Підготувати обладнання та інструменти																			
T 04																				
05																				
06																				
07																				
08																				
09																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
OK																	3			

[illegible]

Дубл.																				
Взам.																				
Подл.																				
Разраб.																				
Проверил																				
Утвердил																				
Н.контр.																				
A 01	<div>Код, наименование операции</div> <div>020 Складальна</div>					<div>Обозначение документа</div>										<div>МИ</div>				
B 02						<div>Код, наименование оборудования</div> <div>Стіл для складання</div>								<div>Тв</div>		<div>To</div>				
K/M	<div>Наименование детали, сб. единицы или материала</div>					<div>Код, обозначение</div>			<div>ОПП</div>	<div>ЕВ</div>	<div>ЕН</div>	<div>КИ</div>		<div>H.pасх.</div>						
P	<div>ПС</div>	<div>V</div>	<div>t c., min</div>	<div>T-PA, oC</div>	<div>T-PA Ж, оС</div>	<div>ПЛ.</div>	<div>Q Г</div>	<div>HM</div>	<div>T H, C</div>			<div>T OX, C</div>								
O 03	<div>Закріпити чотири установчі стійки поз.6 чотирма гвинтами на контролері поз.A5</div>																			
T 04	<div>Викрутка</div>																			
05	<div>Встановити Bluetooth-модуль поз.19 на контролері поз.A5</div>																			
06	<div>Встановити поату керування поз.14 на контролері поз.A5</div>																			
07																				
08																				
09																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
OK																			5	





[illegible]

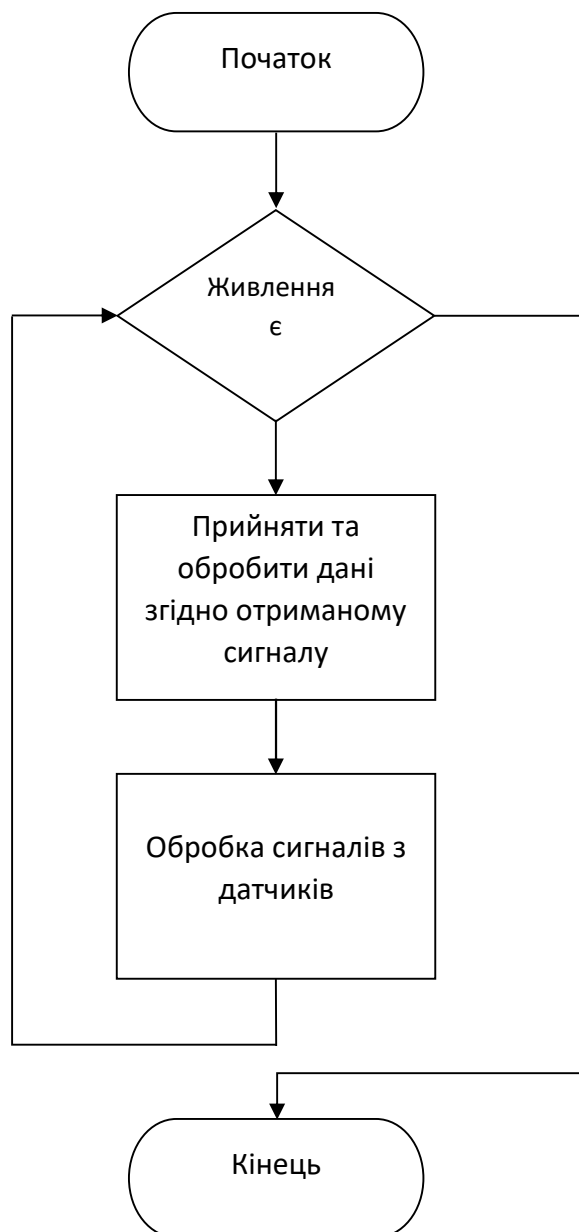
[illegible]

Дубл.																				
Взам.																				
Подл.																				
Разраб.																				
Проверил																				
Утвердил																				
Н.контр.																				
A 01	Код, наименование операции					Обозначение документа									МИ					
	<i>035 Випробування</i>																			
B 02						Код, наименование оборудования							Тв		To					
						<i>Стіл для випробування</i>														
K/M	Наименование детали, сб. единицы или материала					Код, обозначение			ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх.							
P	ПС	V	t c., min	T-PA, oC	T-PA Ж, oC	ПЛ.	Q Г	HM	T H, C		T OX, C									
O 03	<i>Випробувати на стійкість</i>																			
T 04																				
05																				
06																				
07																				
08																				
09																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
OK															17					

[illegible]

# Додаток Г

## Загальний алгоритм програми



**Додаток Д**

## Код програми

```

volatile int val_L;
volatile int val_R;
volatile int val_C;
volatile int distance;
volatile int flag;
volatile int mus;
volatile int sensor_L;
volatile int sensor_R;

char bluetooth_val;

#define WHOLE 1
#define HALF 0.5
#define QUARTER 0.25
#define EIGHTH 0.25
#define SIXTEENTH 0.625

float durt[] =
{
    1, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 1,
    1 + 0.5, 0.5, 1 + 1,
    1, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 1,
    1 + 0.5, 0.5, 1 + 1,
    1, 1, 1, 1,
    1, 0.5, 0.5, 1, 1,
    1, 0.5, 0.5, 1, 1,
    1, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 1,
    1, 1, 1, 0.5, 0.5,
    1, 1, 1, 1,
    1 + 0.5, 0.5, 1 + 1,
};

int length;
void tracking() {
    flag = 0;
    while (flag == 0) {
        val_L = digitalRead(6);
        val_C = digitalRead(7);
        val_R = digitalRead(8);
        if (val_C == 1) {
            digitalWrite(4, HIGH);
            analogWrite(5, 200);
            digitalWrite(2, HIGH);
            analogWrite(9, 200);

        } else {
            if (val_L == 1 && val_R == 0) {

```



```

        digitalWrite(4, LOW);
        analogWrite(5, 200);
        digitalWrite(2, HIGH);
        analogWrite(9, 200);

    } else if (val_L == 0 && val_R == 1) {
        digitalWrite(4, HIGH);
        analogWrite(5, 200);
        digitalWrite(2, LOW);
        analogWrite(9, 200);
    } else {
        digitalWrite(4, LOW);
        analogWrite(5, 0);
        digitalWrite(2, LOW);
        analogWrite(9, 0);
    }

}

}
if (Serial.available())
{
    bluetooth_val = Serial.read();
    if (bluetooth_val == 'S') {
        flag = 1;
    }
}
}

}

void Back() {
    digitalWrite(4, HIGH);
    analogWrite(5, 255);
    digitalWrite(2, HIGH);
    analogWrite(9, 255);
    delay(200);
    digitalWrite(4, LOW);
    analogWrite(5, 255);
    digitalWrite(2, HIGH);
    analogWrite(9, 255);
    delay(700);
    digitalWrite(4, HIGH);
    analogWrite(5, 255);
    digitalWrite(2, HIGH);
    analogWrite(9, 255);
    bluetooth_val = 0;
}

float checkdistance() {
    digitalWrite(12, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(12, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(12, LOW);
    float distance = pulseIn(13, HIGH) / 58.00;

```

```

    delay(10);
    return distance;
}

void follow() {
    flag = 0;
    while (flag == 0) {
        distance = checkdistance();
        sensor_L = digitalRead(A0);
        sensor_R = digitalRead(A2);
        if (distance <= 5 || sensor_L == 0 && sensor_R == 0) {
            digitalWrite(4, LOW);
            analogWrite(5, 200);
            digitalWrite(2, LOW);
            analogWrite(9, 200);

        } else if (distance > 5 && (sensor_L == 0 && sensor_R == 1)) {
            digitalWrite(4, LOW);
            analogWrite(5, 200);
            digitalWrite(2, HIGH);
            analogWrite(9, 200);
        } else if (distance > 5 && (sensor_L == 1 && sensor_R == 0)) {
            digitalWrite(4, HIGH);
            analogWrite(5, 200);
            digitalWrite(2, LOW);
            analogWrite(9, 200);
        } else if ((distance > 5 && distance <= 15) && (sensor_L == 1 &&
sensor_R == 1)) {
            digitalWrite(4, LOW);
            analogWrite(5, 0);
            digitalWrite(2, LOW);
            analogWrite(9, 0);
        } else if ((distance > 15 && distance <= 35) && (sensor_L == 1 &&
sensor_R == 1)) {
            digitalWrite(4, HIGH);
            analogWrite(5, 255);
            digitalWrite(2, HIGH);
            analogWrite(9, 255);
        } else if (distance > 35 && (sensor_L == 1 && sensor_R == 1)) {
            digitalWrite(4, LOW);
            analogWrite(5, 0);
            digitalWrite(2, LOW);
            analogWrite(9, 0);
        }
        if (Serial.available())
        {
            bluetooth_val = Serial.read();
            if (bluetooth_val == 'S') {
                flag = 1;
            }
        }
    }
}

```

```

void avoind() {
  flag = 0;
  while (flag == 0) {
    distance = checkdistance();
    sensor_L = digitalRead(A0);
    sensor_R = digitalRead(A2);
    if (sensor_L == 0 && sensor_R == 0) {
      digitalWrite(4, LOW);
      analogWrite(5, 150);
      digitalWrite(2, LOW);
      analogWrite(9, 150);
      delay(1000);
      digitalWrite(4, LOW);
      analogWrite(5, 200);
      digitalWrite(2, HIGH);
      analogWrite(9, 200);
      delay(500);

    } else if (sensor_L == 1 && sensor_R == 0) {
      digitalWrite(4, LOW);
      analogWrite(5, 200);
      digitalWrite(2, HIGH);
      analogWrite(9, 200);
    } else if (sensor_L == 0 && sensor_R == 1) {
      digitalWrite(4, HIGH);
      analogWrite(5, 200);
      digitalWrite(2, LOW);
      analogWrite(9, 200);
    } else if (distance <= 10 && (sensor_L == 1 && sensor_R == 1)) {
      digitalWrite(4, HIGH);
      analogWrite(5, 200);
      digitalWrite(2, LOW);
      analogWrite(9, 200);
    } else if (distance > 10 && (sensor_L == 1 && sensor_R == 1)) {
      digitalWrite(4, HIGH);
      analogWrite(5, 200);
      digitalWrite(2, HIGH);
      analogWrite(9, 200);
    }
    if (Serial.available())
    {
      bluetooth_val = Serial.read();
      if (bluetooth_val == 'S') {
        flag = 1;
      }
    }
  }
}

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  val_L = 0;
  val_R = 0;
  val_C = 0;
}

```

```

distance = 0;
flag = 0;
mus = 0;
sensor_L = 0;
sensor_R = 0;
Serial.begin(9600);
pinMode(4, OUTPUT);
pinMode(5, OUTPUT);
pinMode(2, OUTPUT);
pinMode(9, OUTPUT);
pinMode(11, OUTPUT);
pinMode(11, OUTPUT);
pinMode(11, OUTPUT);
length = sizeof(tune) / sizeof(tune[0]);

pinMode(6, INPUT);
pinMode(7, INPUT);
pinMode(8, INPUT);
pinMode(12, OUTPUT);
pinMode(13, INPUT);
pinMode(A0, INPUT);
pinMode(A2, INPUT);
}

void loop() {
  if (Serial.available())
  {
    bluetooth_val = Serial.read();
    Serial.println(bluetooth_val);
  }
  switch (bluetooth_val) {
    case 'F':
      digitalWrite(4, HIGH);
      analogWrite(5, 200);
      digitalWrite(2, HIGH);
      analogWrite(9, 200);
      break;
    case 'B':
      digitalWrite(4, LOW);
      analogWrite(5, 200);
      digitalWrite(2, LOW);
      analogWrite(9, 200);
      break;
    case 'L':
      digitalWrite(4, HIGH);
      analogWrite(5, 100);
      digitalWrite(2, HIGH);
      analogWrite(9, 180);
      break;
    case 'R':
      digitalWrite(4, HIGH);
      analogWrite(5, 180);
      digitalWrite(2, HIGH);
      analogWrite(9, 100);
      break;
  }
}

```

```
    case 'S':
        digitalWrite(4, LOW);
        analogWrite(5, 0);
        digitalWrite(2, LOW);
        analogWrite(9, 0);
        noTone(11);
        break;
    case 'Q':
        digitalWrite(4, LOW);
        analogWrite(5, 200);
        digitalWrite(2, HIGH);
        analogWrite(9, 200);
        break;
    case 'E':
        digitalWrite(4, HIGH);
        analogWrite(5, 200);
        digitalWrite(2, LOW);
        analogWrite(9, 200);
        break;
    case 'W':
        digitalWrite(4, HIGH);
        analogWrite(5, 255);
        digitalWrite(2, HIGH);
        analogWrite(9, 255);
        break;
    case 'Z':
        Back();
        break;
    case 'U':
        follow();
        break;
    case 'X':
        tracking();
        break;
    case 'Y':
        avoid();
        break;
}

}
```

# Додаток Е

## Список наукових праць

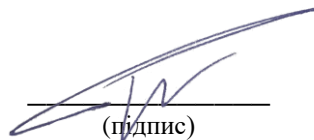
Третяк Олени Вячеславівни

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

№ з/п	Назва праці	Назва видання та його вихідні відомості, що дозволяють ідентифікувати та відрізнити це видання від усіх інших	Кількість друкованих аркушів	Прізвища співавторів
1	2	3	4	5
1	Образование отверстий на искаженной поверхности при 3D-печати	12 Международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» 17-19 апреля 2019 г. – Минск: БНТУ – с. 160-161	1	
2	Практика використання пвп-клею при 3D-друку деталей з PLA–пластику	XII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. – с. 204-206	3	Барандич К.С.
3	Аналіз сучасних термопластів для 3D-друку	XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 10-11 грудня 2019 року – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – с. 187-190	4	
4	Analysis and development prospects of 3D-printing with metal powders	13 Международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» 15-17 апреля 2020 г. – Минск: БНТУ – с. 266	1	
5	Забезпечення переміщення роботизованої платформи на виробництві	X Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 2, 29-30 квітня 2020 р. –Чернігів: ЧНТУ – с.208-209	2	Стельмах Н.В.

1	2	3	4	5
6	Вибір та обґрунтування приводу для автоматизованої платформи	XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – с. 128-131	4	
7	Датчики відстані та їх використання в робототехніці	XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – с. 132-135	4	

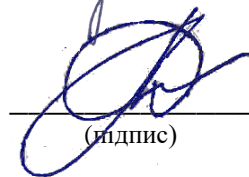
Студент



(підпис)

Олена ТРЕТЯК  
(власне ім. 'я та прізвище)

Завідувач  
кафедри



(підпис)

Віктор АНТОНЮК  
(власне ім. 'я та прізвище)